AIRCRAFT ELECTRICALS

XI

SEMESTER 3

PENULIS

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Didalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. BukuSiswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus **dilakukan** peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus **dilakukan** peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014

Direktur Pembinaan SMK

Daftar Isi

Glosarium

Bab 1 Pendahuluan

A. Deskripsi
B. Prasyarat
C. Petunjuk Penggunaan
D. Tujuan Akhir
E. Kompetensi Inti Dan Kompetensi Dasar
F. Cek Kemampuan Awal

Bab2 Dasar Kelistrikan

Bab 3 Rangkaian Listrik Arus searah

Bab 4 Rangkaian Listrik Arus Bolak Balik

Daftar Pustaka

Peta Kedudukan Bahan Ajar

Peta kedudukan bahan ajar ini merupakan diagram, yang menunjukan tahapan atau tata urutan pencapaian kompetensi yang diajarkan dan dilatihkan kepada siswa, dalam kurun waktu yang dibutuhkan.

Dengan membaca peta kedudukan bahan ajar ini, dapat dilihat urutan logis pembelajaran Bidang Keahlian Teknologi Dan Rekayasa Program Keahlian Teknik Instrumentasi Industri. Guru dan siswa dapat menggunakanBuku Teks Bahan Ajar Siswa ini, sesuai dengan urutan pada diagram ini.

Glosarium

Alloy merupakan logam campuran

Gaya sentripetal merupakan gaya yang bekerjanya kearah dalam atau menarik ke dalam menuju inti atom.

Phasor merupakan vektor yang digunakan untuk menggambarkan besaran yang nilainya bervariasi menurut fungsi waktu dan membentuk grafik fungsi sinus (gelombang AC) seperti besaran listrik AC.

Kapasitansi merupakan sifat suatu alat/komponen/bahan yang bila dihubungkan dengan sumber listrik akan mempercepat arus listrik yang mengalir pada bahan tersebut serta menggeser tegangan tersebut terhadap arus yang melewatinya.

Rangkaian linier yaitu suatu rangkaian yang apabila sumber tegangan atau arus yang mengenainya diubah, maka perubahan tersebut sebanding dengan tegangan dan arus ketika belum diubah.

Bab 1

PENDAHULUAN

Buku Teks Bahan Ajar Siswa tentang Aircraft Electrical digunakan sebagai buku sumber pada kegiatan belajar untuk pencapaian kompetensi siswa pada Mata Pelajaran Aircraft Electrical i, Sebagai Dasar Program Keahlian pada Kelompok Kejuruan Program Keahlian Pemeliharaan dan Perbaikan Instrumen Elektronika Pesawat Udara (Electrical Avionics) Bidang Keahlian Teknologi dan Rekayasa.

Buku Teks Bahan Ajar Siswa Aircraft Electrical terdiri atas 4 jilid buku. Buku Aircraft Electrical 1 digunakan untuk pembelajaran Kelas XI semester 3. Pada buku jilid 1 ini dibahas materi belajar yang meliputi;

- Dasar kelistrikan
- Tegangan dan daya Listrik
- Dasar Listrik Arus Bolak Balik

Buku Teks Bahan Ajar Siswa ; Aircraft Electrical disusun berdasarkan penguasaan konsep dan prinsip serta keterampilan teknis keahlian sehingga setelah mempelajari buku ini, siswa memiliki penguasaan pelaksanaan pekerjaan Dasar Aircraft Electrical .

A. Prasyarat

Kemampuan awal peserta didik sebelum mempelajari Buku Teks Bahan Ajar "Aircraft Electrical 1 " yaitu siswa:

- Telah memahami konsep dasar fisika teknik.
- Dapat menggunakan alat ukur listrik.
- Telah memahami gambar teknik
- Telah memahami komponen-komponen dasar kelistrikan, seperti sumber tegangan, komponen pasif.
- Telah memahami hukum-hukum kelistrikan.
- Dapat menggunakan alat ukur analog.
- Dapat menggunakan CRO.

B. Petunjuk Penggunaan

1. Petunjuk penggunaan bagi Siswa :

a. Siswa harus memahami mata pelajaran atau materi yang menjadi prasarat pemelajaran modul ini, yaitu Gambar Teknik, Fisika listrik
b. Lakukan kegiatan pemelajaran secara berurutan dari Kegiatan Bab 1 kegiatan pembelajaran berikutnya.
c. Pelajari dan pahami setiap uraian materi dengan seksama.

d. Lakukan kegiatan yang diberikan pada uraian materi pembelajaran. Kegiatan tersebut dirancang dalam bentuk; Eksplorasi, Diskusikan dan Simpulkan serta kegiatan Asosiasi.
e. Kegiatan praktik kejuruan dilaksanakan dalam bentuk latihan keterampilan, kerjakan latihan tersebut dibawah pengawasan guru.
f. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan pada setiap pembelajaran untuk menyelesaikan tugas dan evaluasi hasil belajar
g. Lakukan setiap kegiatan dengan tekun, teliti dan hati-hati.
h. Jawablah soal evaluasi pada bagian Review secara individual
i. Jawablah soal evaluasi pada bagian penerapan dan diskusikan dikelas hasil jawaban tersebut.
j. Lakukan tugas proyek yang diberikan pada soal evaluasi bagian tugas proyek secara individu atau kelompok, lalu presentasikan dikelas hasil pelaksanaan tugas proyek tersebut.
k. Uji kompetensi kejuruan adalah tugas proyek individual untuk mengevaluasi capaian keterampilan siswa, kerjakan uji kompetensi sesuai petunjuk.
l. Siswa dinyatakan tuntas menyelesaikan materi pada bab terkait, jika Siswa menyelesaikan kegiatan yang ditugaskan dan menyelesaikan kegiatan evaluasi dengan nilai minimal sama dengan Kriteria Kelulusan Minimal (KKM).

2. Peran Guru:

a. Merencanakan kegiatan pembelajaran siswa selama satu semester sesuai silabus.
b. Membantu Siswa dalam merencanakan proses belajar
c. Membantu Siswa dalam memahami konsep dan praktik.
d. Memberikan motivasi, membimbing dan mengarahkan siswa dalam melakukan kegiatan yang diberikan pada uraian materi pembelajaran. Kegiatan tersebut dirancang dalam bentuk; Eksplorasi, Diskusikan dan Simpulkan dan Asosiasi.
e. Menekankan, selalu mengecek dan memfasilitasi penggunaan K3 sesuai kegiatan yang dilaksanakan.

f. Memberikan contoh, memandu dan melakukan pengawasan pelaksanaan tugas siswa yang berkaitan dengan pembelajaran praktik di lab atau bengkel kerja.
g. Membantu Siswa untuk menetukan dan mengakses sumber belajar lain yang diperlukan untuk kegiatan pembelajaran.
h. Merencanakan seorang ahli/pendamping guru dari tempat kerja/industri untuk membantu jika diperlukan
i. Merencanakan proses penilaian dan menyiapkan perangkatnya
j. Memeriksa seluruh hasil pekerjaan siswa baik berupa hasil pelaksanaan kegiatan maupun jawaban dari evaluasi belajar.
k. Mencatat dan melaporkan pencapaian kemajuan Siswa kepada yang berwenang.

C. Tujuan Akhir

Hasil akhir dari seluruh kegiatan belajar dalam buku teks bahan ajar siswa ini adalah Siswa;

1) Memahami dasar-dasar kelistrikan sebagai ilmu yang mempelajari arus, tegangan dan hambatan listrik, pengukuran secara praktis, teoritis dan aplikasinya dalam kehidupan.
2) Memahami besaran dan sistem satuan yang digunakan dalam pengukuran di dunia Industri.
3) Mengidentifikasi karakteristik alat ukur yang digunakan di dunia industri
4) Mampu memilih dan menggunakan alat kesehatan dan keselamatan kerja sesuai jenis pekerjaan
5) Mampu menerapkan prosedur Keselamatan dan Kesehatan Kerja sesuai standar yang berlaku pada sistem instrumentasi industri
6) Mampu mengidentifikasikan bahan listrik berdasarkan jenis dan karakteristik

7) Mampu memilih jenis dan karakteristik bahan listrik sesuai perencanaan produk
8) Mampu mengidentifikasikanmacam-macam pembangkit listrik
9) Mampu mengaplikasikan penggunaan arus bolak balik
10) Mampu memahami hukum Ohm dan Kirchof pada rangkaian listrik
11) Mampu menggunakan alat ukur listrik sesuai fungsi dan prosedur

E. Kompetensi Inti Dan Kompetensi Dasar

BIDANG KEAHLIAN : TEKNOLOGI DAN REKAYASA

PAKET KEAHLIAN : ELECTRICAL AVIONICS

MATA PELAJARAN : AIRCRAFT ELECTRICALS

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)	KOMPETENSI DASAR
KI-1 Menghayatidan mengamalkan	1.1 Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai penerapan *aircraft electrical* pada perawatan pesawat udara

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)	KOMPETENSI DASAR
ajaran agama yang dianutnya	1.2 Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam penerapan *aircraft electrical* pada perawatan pesawat udara
KI-2 Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktifdan menunjukan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.	2.1 Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawabdalam menerapkan aircraft electrical pada perawatan pesawat udara 2.2 Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdan cara merawat aircraft electrical 2.3 Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan tugas merawat aircraft electrical
KI-3 Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan **metakognitif** berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidangkerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menerapkan dasar-dasar listrik 3.2. Menerapkan pembangkit listrik 3.3. Menerapkan teori arus bolak balik 3.4. Menerapkan transformator
KI-4 Mengolah, menyaji, dan menalar dalam ranah konkret dan ranah	4.1. Mengaplikasikan hukum Ohm dan Kirchof pada rangkaian listrik 4.2. Mengaplikasikan listrik AC dan DC pada rangkaian listrik

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)	KOMPETENSI DASAR
abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, **bertindak secara efektif dan kreatif**, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.	4.3. Melakukan pengukuran parameter arus bolak - balik 4.4. Membuat lilitan pada transformator

KOMPETENSI INTI (KELAS XII)	KOMPETENSI DASAR
KI-1 Menghayatidan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai penerapan aircraft electrical pada perawatan pesawat udara 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam penerapan aircraft electrical pada perawatan pesawat udara
KI-2 Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktifdan menunjukan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawabdalam menerapkan aircraft electrical pada perawatan pesawat udara 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdan cara merawat aircraft electrical 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan tugas merawat aircraft electrical
KI-3	3.1. Menerapkan mesin mesin listrik

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)	KOMPETENSI DASAR
Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan **metakognitif** berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidangkerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.2. Menerapkan alat ukur listrik 3.3. Menerapkan alat kontrol listrik 3.4. Menerapkan perawatan battery pesawat udara
KI-4 Mengolah, menyaji, dan menalar dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, **bertindak secara efektif dan kreatif**, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.	4.1. Memperbaiki dan merawat mesin – mesin listrik 4.2. Melakukan kontiniu tes pada rangkaian listrik dengan menggunakan multimeter 4.3. Mengoperasikan penggunaan alat kontrol listrik 4.4. Melakukan pengontrolan rangkaian listrik dengan bermacam – macam alat control listrik 4.5. Merawat battery pesawat udara

DASAR KELISTRIKAN

Lembar Informasi

A. Penghantar Listrik

1. Muatan Listrik

Ada dua jenis muatan listrik yaitu muatan positif dan negatif. Dengan menggosokkan sisir dengan kain maka muatan negatif dihasilkan pada sisir dan muatan positif pada kain.

2. Teori Atom

Bagian yang sangat kecil dari suatu benda (baik padat, cair maupun gas) dan masih memiliki sifat benda tersebut disebut molekul. Tiap molekul terdiri dari beberapa atom sejenis yang disebut unsur dan bila atomnya berbeda disebut senyawa.

Sebuah atom terdiri dari :

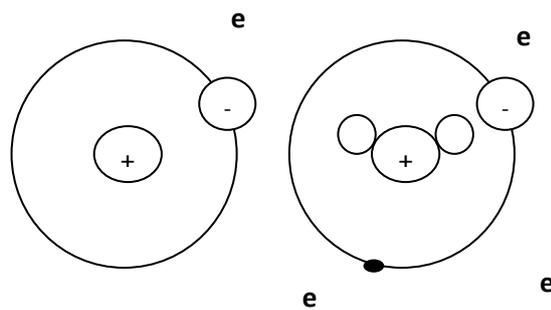
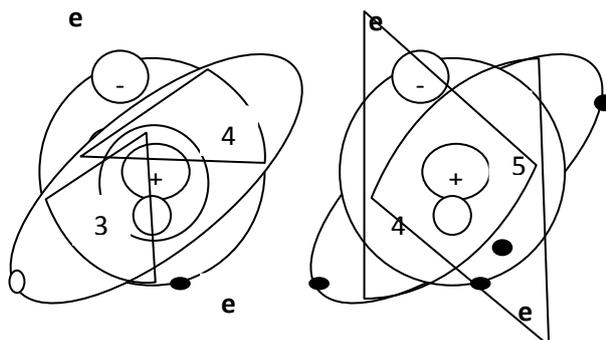
1. Inti yang disebut nukleus. Inti atom mempunyai dua jenis partikel yaitu proton yang bermuatan listrik positif dan netron yang tidak bermuatan listrik. Masa proton hampir sama dengan massa netron.
2. Di sekitar inti atom terdapat partikel yang selalui bergerak mengilingi inti atom dengan lintasan berbentuk elips uyang disebut elektron. Elektron bermuatan listrik negatif. Masa elektron dapat diabaikan karena massanya mendekati 1/1840 massa proton.

Beberapa hal penting yang perlu diketahui tentang struktur atom:

✓ Massa proton adalah 1,66 x 10^{-27} kg dan massa elektron 9,1 x 10^{-31} kg dan muatan elektron 1,602 x 10^{-19}coulomb.

✓ Elektron bergerak pada lintasan tertentu, membentuk kulit atom K, L, M, N dan seterusnya yang diberi nomor n = 1,2,3,4 dan seterusnya. Jumlah elektron maksimal untuk tiap lintasan dinyatakan dalam $2n^2$.

✓ Gaya sentripetal menyebabkan elektron tetap bergerak pada lintasannya. Elektron pada kulit terluar yang disebut elektron valensi mendapat gaya yang paling lemah. Pada logam, elektron valensi ini bebas bergerak dan membentuk lautan elektron. Elektron yang bergerak bebas inilah yang bersifat menghantarkan arus listrik.

Gambar 1 di bawah ini menggambarkan model atom hidrogen, helium, litium dan berilium.

a. Hidrogen ($^1_1\mathrm{H}$)　　b. Helium ($^4_2\mathrm{He}$)

c. Litium ($^{7}_{3}\mathrm{Li}$)　　　　d. Berlium ($^{9}_{4}\mathrm{Be}$)

Gambar 1. Model Atom

3.Kepadatan Arus

Jumlah muatan yang bergerak melalui penampang suatu penghantar untuk setiap satuan waktu merupakan arus listrik, jika muatan dinyatakan q, arus listrik a dan waktu t maka:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Satuan arus listrik dalam SI adalah $\frac{\mathrm{Coulum(C)}}{\mathrm{det\,ik(S)}}$ = Amper (A).

Menurut konvensi, arus listrik mengalir dari potensial yang lebih tinggi ke potensial yang lebih rendah atau arah mengalirnya muatan positif. Pada penghantar logam arus listrik merupakan gerakan-gerakan elektron bebas. Muatan positif dalam penghantar logam tiidak dapat bergerak,.dengan demikian arah gerakan elektron berlawanan dengan arah arus listrik.

Misalkan suatu penghantar yang panjangnya L dan luas penghantar A terdapat N elektron yang terdistribusi secara merata seperti pada Gambar 2.

Gambar 2. Penghantar untuk Menentukan Kepadatan Arus

Jika medan listrik E menyebabkan elektron bergerak sepanjang L dalam waktu T detik maka kecepatan elektron adalah L/T. arus listrik I berdasarkan definisi merupakan jumlah muatan listrik yang melalui penampang A setiap satuan waktu. Sedangkan jumlah muatan listrik merupakan jumlah elektron dikalikan dengan muatan elektron q sehingga :

$$I = \frac{qN}{T}.\frac{L}{L} = \frac{q.N.V_d}{L} \text{ ampere}$$

di mana V_d adalah kecepatan elektron. Kepadatan arus yang dinyatakan dalam J adalah besar arus listrik untuk setiap satuan luas penampang dalam medium penghantar.

$$J = \frac{I}{A}.\frac{A}{m^2}$$

Jika I diganti dengan $\frac{q.N.V_d.}{L}$ maka:

$$J = \frac{q.N.V_d.}{LA}$$

LA merupakan volume penghantar yang berisikan N elektron maka konsentrasi elektron dalam penghantar adalah:

$$N = \frac{N.}{LA} m^{-3}$$

Jika nilai n disubtitusikan maka:

$$J = qn\ V_d = \square v.\ V_d.\ \frac{A}{m^2}$$

Dimana □v adalah kepadatan muatan, dalam satuan per meter kubik.

4. Resistansi (Hambatan Listrik)

Kecepatan elektron dalam penghantar berbanding lurus dengan medan listrik E.

V_d = □ E $\qquad\qquad$ V_d = Kecepatan Elektron

□ = Mobilitas Elektron

E = Medan Listrik

Jika persamaan ini disubtitusikan ke dalam persamaan kepadatan arus maka:

$J = q\ n\ V_d$

J = q n □ E

J = □ E

Dimana □ = q n □ (□ m)$^{-1}$ merupakan daya hantar dari penghantar.

Besarnya tegangan listrik dari penghantar yang panjangnya L dan medan listrik E adalah V = EL

Sedangkan arus listrik yang mengalir pada penghantar

I = J.A = □ E A $\frac{L}{L} = \frac{\sigma A}{L}.V = \frac{V}{R}$ ampere.

Di mana R merupakan resistansi yang besarnya adalah :

$$R = \frac{L}{\sigma A} = \rho \frac{L}{A} \qquad\qquad \rho = \frac{1}{\sigma}$$

ρ = Resistivitas atau hambat jenis

σ = Konduktivitas atau daya hantar.

Dengan demikian resistivitas suatu penghantar.

1. Berbanding lurus dengan panjang penghantar..

2. Berbanding terbalik dengan penampang penghantar.

3. Tergantung dari jenis penghantar

Satuan resistivitas dalam SI adalah:

$$\rho = \frac{L}{\sigma A} = \rho \frac{L}{A}$$

5. Konduktansi

Konduktansi merupakan kebalikan dari resistansi, jika resistansi mempunyai persamaan

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

maka konduktansinya adalah

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \frac{A}{L} = \frac{\sigma A}{L}$$

di mana merupakan daya hantar atau konduktivitas dari penghantar. Satuan konduktivitas adalah mho.

6. Pengaruh Suhu Terhadap Resistansi

Resistansi tergantung dari panjang penghantar, penampang penghantar dan jenis bahan penghantar serta suhu penghantar. Pengaruh kenaikan temperatur terhadap resistansi antara lain :

a. Menaikkan nilai resistansi pada logam dan aloy.

b. Menurunkan nilai resistansi seperti pada elektrolit, isolator misalnya kertas, karet, gelas, mika, dan sebagainya.

Jika suatu logam mempunyai resistansi Ro pada 0°C, kemudian suhunya dinaikkan t dan resistansi menjadi Rt maka kenaikan resistansi :

$\Delta R = Rt - Ro$

yang tergantung dari nilai resistansi awal, kenaikan temperatur, serta jenis bahan penghantar.

Secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan:

$\Delta R = \alpha \; Ro \; \Delta t$

$Rt - Ro = \alpha \; Ro \; \Delta t$

$Rt = Ro + \alpha \; Ro \; \Delta t$

$Rt = Ro \; (1 + \alpha \Delta t)$

dimana α merupakan suatu konstanta yang disebut koefisien temperatur dari resistansi yang besarnya :

$$\alpha = \frac{1}{Ro} . \frac{\Delta R}{\Delta t}$$

Dalam praktik, koefisien temperatur untuk berbagai temperatur dianggap tetap. Padahal telah ditemukan bahwa nilai α tidak tetap untuk temperatur yang berbeda. Jika α pada temperatur 0^oC disebut αo dan α pada temperatur t^oC disebut αt dan resistansi pada t^oC besarnya Rt maka :

$Ro = Rt \; (1 - \alpha t \; \Delta t)$

dan sebaliknya,

$Rt = Ro \; (1 + \alpha o \; \Delta t)$

Berdasarkan persamaan di atas,

$$\alpha \, t = \frac{Rt - Ro}{Rt \, . \, \Delta t}$$

$$\alpha \, t = \frac{Ro \, (1 + \alpha o \, \Delta t) - Ro}{Ro \, (1 + \alpha o \, \Delta t) \, . \, t}$$

$$\alpha \, t = \frac{\alpha o}{1 + \alpha o \, t}$$

Secara umum jika

α_1 = koefisien temperatur pada t_1

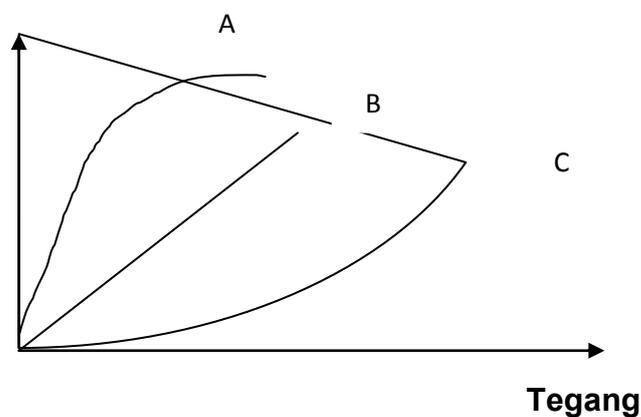
α_2 = koefisien temperatur pada t_2

maka,

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + (t_2 - t_1)}$$

7. Resistor Linier dan Non Linier

Resistor biasanya terbuat dari logam atau campuran beberapa logam. Resistor dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu resistor linier dan resistor non linier. Resistor linier yaitu besarnya arus yang mengalir sebanding secara proporsional dengan besar tegangan yang diberikan pada resistor. Pada resistor linier besarnya resistansi tetap. Sedangkan resistor non linier adalah arus yang mengalir tidak sebanding proporsional dengan tegangan. Besarnya resistansi pada resistor non linier tidak tetap. Grafik arus sebagai fungsi tegangan ditunjukkan oleh Gambar dibawah ini .

Gambar 3. Grafik Arus sebagai Fungsi Tegangan

Latihan 1

Alat dan Bahan

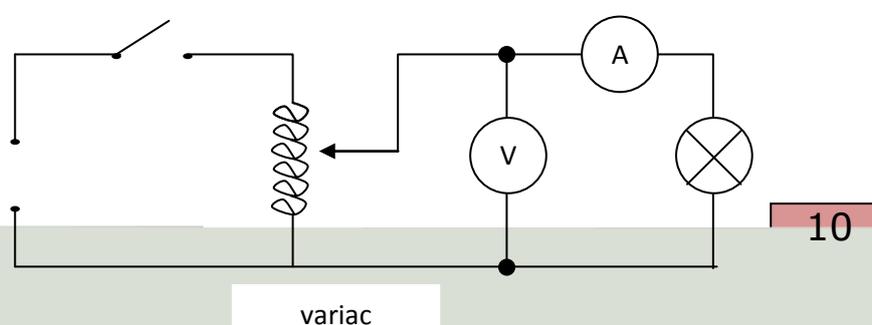
1. Multimeter / Voltmeter AC .... 1 buah
2. Ampere meter AC .... 1 buah
3. Variac 0 – 250 V .... 1 buah
4. Lampu pijar.. 1 buah
5. Solder listrik atau pemanas lain. .... 1 buah
6. Kabel penghubung .... secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
2. Letakkan peralatan dalam posisi aman, mudah dirangkai dan mudah diamati/dibaca!
3. Jangan menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar!
4. Jangan membuat sambungan dalam keadaan terbuka!
5. Sesuaikan batas ukur dari alat-alat ukur dengan beban!
6. Lakukan praktik dengan hati-hati!

.

Langkah Kerja

1. Buatlah rangkaian seperti Gambar 4 di bawah ini:

Sumber 220 v

Gambar 4. Gambar Rangkaian Percobaan

2. Setelah rangkaian benar tutup saklar S kemudian atur variac sehingga voltmeter menunjukkan tegangan seperti dalam Tabel 1!

Tabel 1. Hubungan antara Tegangan, Arus, dan Resistansi

Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Resistansi (ohm)
50		
100		
150		
200		
220		

3. Catatlah besarnya arus pada setiap perubahan tegangan!
4. Hitunglah V/I pada setiap perubahan tegangan!
5. Gantilah lampu pijar dengan solder listrik atau alat pemanas lainnya! Kemudian ikuti langkah-langkah seperti percobaan sebelumnya!
6. Masukkan hasil pengamatan ke Tabel 2!

Tabel 2. Hubungan antara Tegangan, Arus, dan Resistansi

Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Resistansi (ohm)
50		
100		
150		

200		
220		

7. Hitung V/I pada setiap perubahan tegangan.

8. Jika semua telah selesai hentikanlah kegiatan dan kembalikan semua peralatan ke tempat semula. Kemudian simpulkan secara keseluruhan percobaan tadi, khususnya berdasarkan data pada Tabel 1 dan 2!

Lembar Latihan

1. Hitunglah jumlah elektron yang mengalir melalui penampang kawat selama 1 detik dengan arus listrik 1 A!

2. Hitunglah kepadatan arus dari suatu kawat alumunium yang mempunyai diameter 4 mm dan arus listrik yang mengalir 10 A!

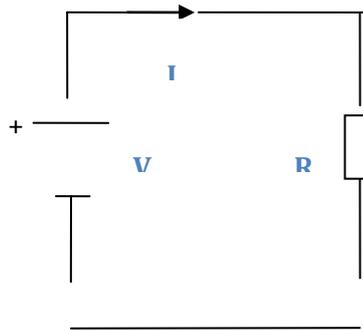
3. Hitunglah resistansi suatu kawat menganin dengan panjang 100 m, yang mempunyai luas penampang 0,1 mm^2. dan hambat jenisnya 50×10^{-8} ohm meter!

4. Hitunglah resistansi tembaga pada 62^oC jika □ tembaga $4{,}28 \times 10^{-3}$ per^oC dan ilitan shunt dari generator DC mempunyai resistansi 135 ohm pada suhu 25^oC!

5. Hitunglah tahanan awal sebuah lampu 230 V, 60 watt yang mempunyai filamen dengan suhu kerja normal 2020^oC. jika □ filamen = 0,0045 per ^oC dan suhu awal 20 ^oC!

B. Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff

1. Hukum Ohm

Apabila sebuah penghantar R dihubungkan dengan sumber tegangan maka arus listrik akan mengalir dari kutub positif ke kutub negatif melewati hambatan R. Hal ini dapat ditunjukkan oleh Gambar 5.

Gambar 5. Gambar yang Menjelaskan Hukum Ohm.

Besarnya arus listrik yang mengalir tergantung dari besarnya tegangan V dan hambatan R yang terpasang.

Hubungan antara arus dan tegangan pada sebuah hambatan, dinyatakan oleh hukum ohm yang berbunyi "tegangan pada sebuah hambatan sama dengan besarnya arus yang mengalir pada hambatan tersebut dikalikan dengan besarnya harga hambatan tersebut." Dirumuskan sebagai berikut :

$$V = I.R \text{ atau } I = V/R$$

V = tegangan (volt)

I = arus yang mengalir (ampere)

R = hambatan (ohm)

Hukum ohm berlaku untuk rangkaian listrik searah (DC) maupun rangkaian listrik arus boak-balik (AC).

Daya dan Energi

Berdasarkan hukum Ohm

$$I = \frac{V}{R}$$

Sedangkan daya listrik yang diserap oleh resistor

$P = I^2 R$ watt

$$P = I^2 R$$

$$= V I$$

$$= \frac{V^2}{R}$$

Energi yang diserap resistor selama t adalah :

$W = P t = I^2 R t$

Jika t dalam satuan detik, I dalam ampere dan R dalam ohm, maka

$W = I^2 R t$ Joule

Jika semua energi listrik berubah menjadi panas, maka

$W = 0{,}24\ I^2 R t$ kalori

1 kalori = 4,186 joule, sehingga:

1 joule = 0,24 kalori

2. Hukum Kirchoff

Untuk memecahkan persoalan-persoalan rangkaian yang rumit; yaitu rangkaian yang terdiri dari beberapa buah sumber tegangan atau sumber arus serta beberapa buah hambatan/beban maka dipergunakan hukum-hukum rangkaian, diantaranya hukum Kirchoff.

Hukum Kirchoff I

Hukum Kirchoff I berbunyi "jumlah aljabar dari arus yang menuju/ masuk dengan arus yang meninggalkan/keluar pada satu titik sambungan/cabang sama dengan nol "

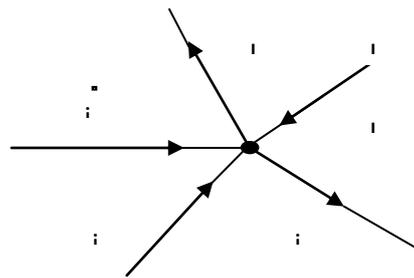
Hal ini dapat digambarkan melalui Gambar 6 berikut ini.

Hukum tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$\Sigma\ i = 0$

$$i_1 + i_2 + i_3 - i_4 - i_5 = 0$$

dimana:

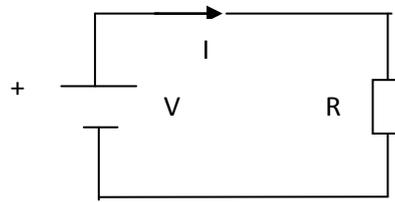
- Arus yang masuk (i_1, i_2, i_3) diberi tanda positif.
- Arus yang keluar (i_4 dan i_5) diberi tanda negatif

Gambar 6. Menjelaskan Hukum Kirchoff I

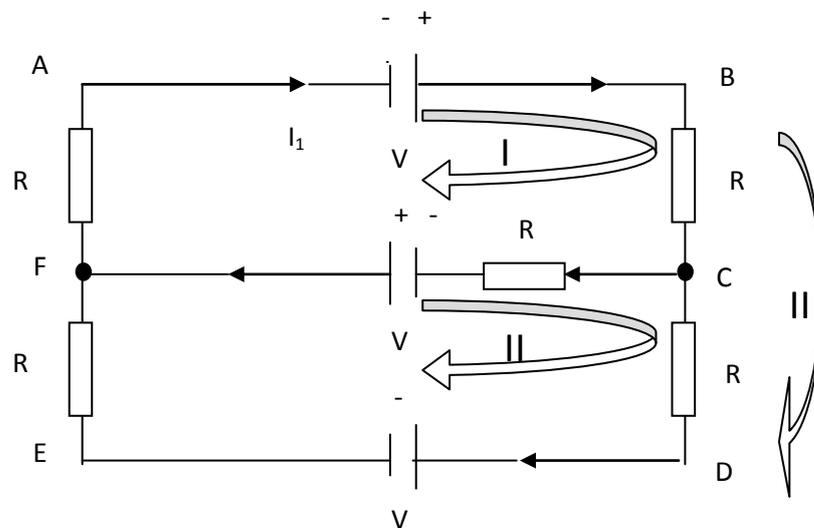
Hukum Kirchoff II

Hukum Kirchoff II ini berbunyi "di dalam satu rangkaian listrik tertutup jumlah aljabar antara sumber tegangan dengan kerugian-kerugian tegangan selalu sama dengan nol."

Dirumuskan : $\Sigma V + \Sigma IR = 0$

Yang dimaksud dengan kerugian tegangan yaitu besarnya tegangan dari hasil kali antara besarnya arus dengan hambatan yang dilalui.

Secara mudah untuk memahami rumus di atas (lihat Gambar 7), apabila tegangan V diberi tanda positif, maka besarnya tegangan IR harus diberi tanda negatif. Sehingga : + V – IR = 0

Gambar 7. Penjelasan Hukum Kirchoff II

Harus dipahami bahwa penggunaan hukum Kirchoff ini berlaku pada rangkaian tertutup. Jika rangkaian listrik terdiri dari beberapa rangkaian tertutup, maka dalam analisanya dibuat persamaan menurut rangkaian tertutup satu per satu. Untuk pemahaman diberikan ilustrasi dengan Gambar 8 berikut ini .

Gambar 8. Rangkaian Listrik dengan Beberapa Rangkaian Tertutup.

Analisis menurut Hukum Kirchoff I, rangkaian ini mempunyai dua titik pertemuan yaitu titik C dan F, maka pada titik ini berlaku

Titik C:

$I_1 - I_2 - I_3 = 0$

Titik F

$I_2 + I_3 - I_1 = 0$

Untuk memahami Hukum Kirchoff II, rangkaian di atas dapat dibuat tiga lingkaran tertutup yaitu : I, II dan III.

Pada lingkaran I, yaitu lingkaran A – B – C – F – A:

terjadi $V_1 - I_1R_1 - I_2R_2 + V_2 - I_1R_5 = 0$

Pada lingkaran II yaitu lingkaran F – C – D – E - F

terjadi $-V_2 + I_2R_2 - I_3R_3 - V_3 - I_3R_4 = 0$

Pada lingkaran III, yaitu A – B – C – D – E – F –A terjadi

$V_1 - I_1R_1 - I_3R_3\ V_3 - I_3R_4 - I_1R_5 = 0$

Untuk mempermudah penggunaan hukum Kirchoff perlu diketahui:

1. Dalam menentukan arah arus pada tiap cabang bebas tetapi harus diingat bahwa arah arus pada tiap-tiap percabangan harus ada yang masuk dan keluar.

2. Tentukan arah tiap kelompok secara bebas (pada contoh di atas ada tiga). Sebaiknya semuanya searah (seperti contoh di atas). Arah arus dari kelompok lingkaran digunakan sebagai dasar untuk menberikan tanda positif atau negatif pada sumber tegangan (V) maupun rugi tegangan (IR) dalam persamaan nantinya.

3. Setelah ditentukan arah arus kelompok, maka dibuat persamaan terhadap tiap kelompok, arah arus listrik tiap cabang yang

searah dengan arah arus yang menuju kutub sumber tegangan, maka harga sumber tegangan tersebut positip. (lihat contoh untuk lingkaran I).

4. Bahwa arus listrik yang mengalir dalam satu cabang besarnya sama (pada contoh: arus yang mengalir pada R_3 dan R_4 adalah sama yaitu I_3).
5. Apabila nantinya setelah dihitung ternyata harga arus pada cabang tertentu berharga negatif, ini menunjukkan bahwa arah arus yang ditentukan semula adalah salah, oleh karenanya perlu dibalik.

LEMBAR KERJA

Alat dan bahan :

1. Resistor 100 Ω/5 watt .... 1 buah
2. Resistor 1 Ω, 10 Ω, 50 Ω, 100 Ω .... 1 buah
3. Multimeter/voltmeter DC .... 1 buah
4. Miliamperemeter DC .... 1 buah
5. Sumber tegangan DC variabel 0 – 20 V .... 1 buah
6. Saklar .... 1 buah
7. Kabel Penghubung .... 1 buah

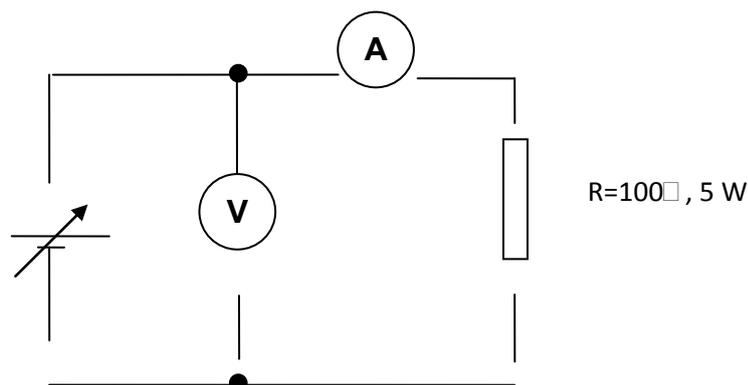
Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Jangan menghubungkan ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar!
2. Perhatikan batas ukur dari alat ukur yang digunakan jangan menggunakan alat ukur melebihi kemampuan!

3. Perhatikanlah kemampuan arus dari resistor, jangan memberi arus melebihi kapasitor!
4. Hindarilah penggunaan sambungan terbuka!
5. Letakan peralatan pada tempat aman mudah dijangkau dan mudah diamati!
6. Pastikan posisi awal sumber tegangan DC pada posisi 0!

Langkah Kerja

Percobaan I (Hukum Ohm)

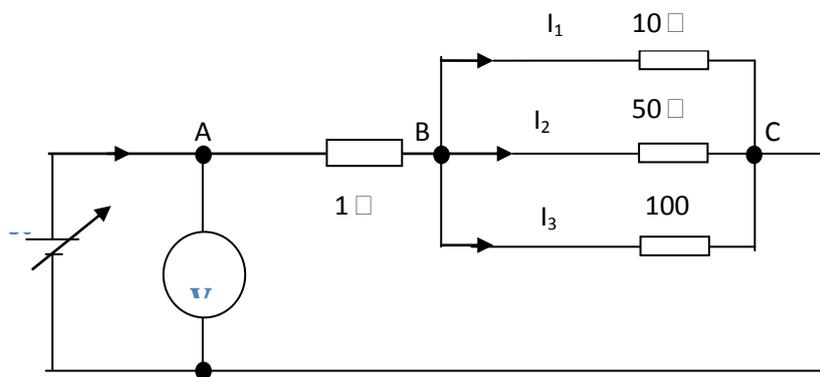
1. Buatlah rangkaian seperti Gambar 9 di bawah ini :

Gambar 9. Rangkaian Percobaan Hukum Ohm

2. Aturlah tegangan sehingga voltmeter menunjukkan nilai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3!
3. Hitunglah V/I setiap perubahan tegangan dan bandingkan hasilnya dengan teori!

Tabel 3. Percobaan Hukum Ohm

V (volt)	I (mA)	V/I (ohm)
2		
4		
6		
8		
10		
12		
14		
16		
18		
20		

Percobaan II (Hukum Kirchoff)

1. Buatlah rangkaian seperti Gambar 10 di bawah ini!

Gambar 10. Rangkaian Percobaan Hukum Kirchoff.

2. Aturlah tegangan sumber seperti Tabel 4 di bawah!

Tabel 4. Percobaan Hukum Kirchoff

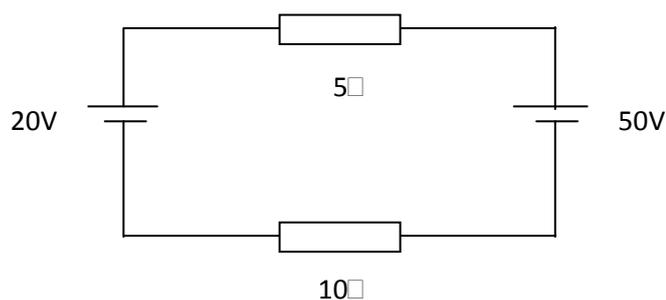
V (volt)	V_{AB} (volt)	V_{BC} (volt)	$I = \frac{V_{AB}}{1}$ (ampere)	$I_1 = \frac{V_{BC}}{10}$ (ampere)	$I_2 = \frac{V_{BC}}{50}$ (ampere)	$I_3 = \frac{V_{BC}}{100}$ (ampere)

3. Ukurlah tegangan V_{AB} dan V_{BC} setiap perubahan tegangan dan masukkan dalam tabel

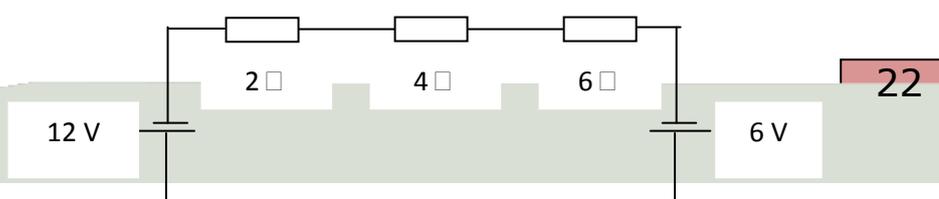
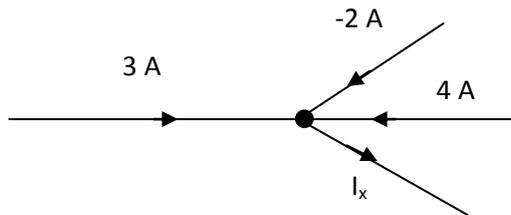
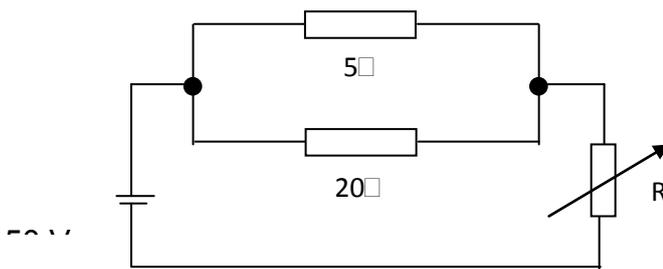
4. Hitunglah I_1, I_2, I_3 dan I setiap perubahan tegangan, kemudian bandingkan hasil pengukuran arus dengan teori $I = I_1 + I_2 + I_3$. serta bandingkan hasil pengukuran tegangan dengan teori $V = V_{AB} + V_{BC}$.

5. Jika semua percobaan telah dilaksanakan, rapikan peralatan yang digunakan kemudian kembalikan ke tempat semula.

Lembar latihan

1. Hitunglah arus dan daya yang diserap oleh setiap resistor dalam rangkaian di bawah ini:

2. Hitunglah arus, daya dan tegangan setiap resistor dari rangkaian di bawah ini.

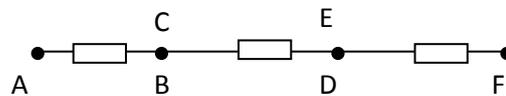
2 □ 4 □ 6 □

12 V 6 V

3. Hitung I_x dari cabang di bawah ini!

4. Resistor R diatur sehingga daya pada tahanan 5 □ adalah 20 W. 5 □ adalah 20 W

C. Resistor Seri dan Paralel

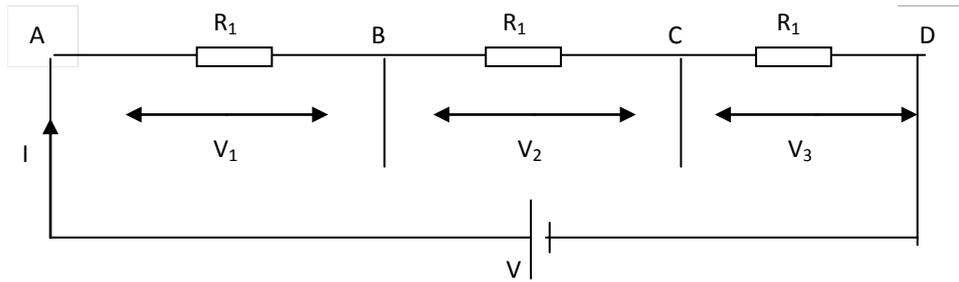
Ada tiga macam sambungan hambatan / resistor, yaitu sambungan seri, sambungan paralel dan sambungan campuran (seri-paralel). Dari beberapa resistor yang disambung dengan jalan di atas, dapat ditentukan satu buah hambatan pengganti.

1.Sambungan Seri

Sambungan seri disebut juga sambungan deret. Resistor-resistor dikatakan sambungan seri apabila dua resistor atau lebih disambung dengan cara ujung akhir dari resistor pertama disambungkan dengan ujung awal dari resistor kedua, ujung akhir resistor kedua disambungkan dengan ujung awal resistor ketiga dan seterusnya..

Contoh pada Gambar 11 tiga buah hambatan yaitu: AB, CD, EF disambung seri

Gambar 11. Rangkaian Seri

Rangkaian di atas menunjukkan, ujung B disambung dengan ujung C dan ujung D disambung dengan ujung E.

Untuk mengetahui berapa besar satu hambatan pengganti dari sambungan seri dari beberapa hambatan, dapat dibuktikan dengan menggunakan hukum Ohm dan Kirchoff. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 12.

Gambar 12. Resistor Seri

Pada rangkaian resistor seri di atas ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Arus listrik yang mengalir pada ketiga resistor sama.
2. Drop tegangan pada tiap resistor berbeda jika besar resistansi sama.
3. Jumlah dari ketiga drop tegangan sama dengan tegangan sumber.

Untuk menghitung resistansi ekivalen dari ketiga resistor adalah sebagai berikut.

$V_1 = IR_1 \quad V_2 = IR_2 \quad V_3 = IR_3$

$V = V_1 + V_2 + V_3$

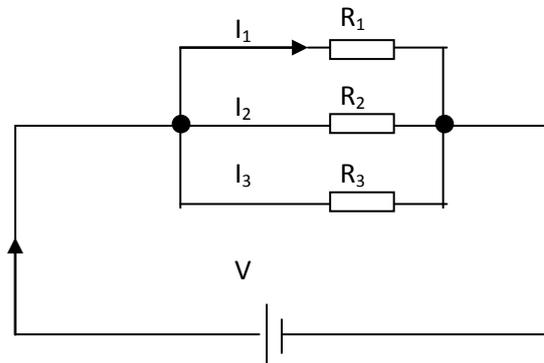
$V = IR_1 + IR_2 + IR_3$

$= I (R_1 + R_2 + R_3)$

$$\frac{V}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

$\frac{V}{I}$ merupakan resistansi ekivalen R sehingga $R = R_1 + R_2 + R_3$.

2. Sambungan Paralel

Jika resistor R_1, R_2,R_3 disusun seperti gambar 13 maka disebut dengan susunan paralel.

Gambar 13. Resistor Paralel

Pada rangkaian resistor paralel ada beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya :

1. Drop tegangan pada setiap resistor sama.
2. Arus pada setiap resistor berbeda sesuai hukum ohm.
3. Arus total merupakan jumlah dari ketiga arus cabang.

Untuk menghitung resistansi ekivalen dari susunan resistor paralel sebagai berikut :

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \qquad I_2 = \frac{V}{R_2} \qquad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{I}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

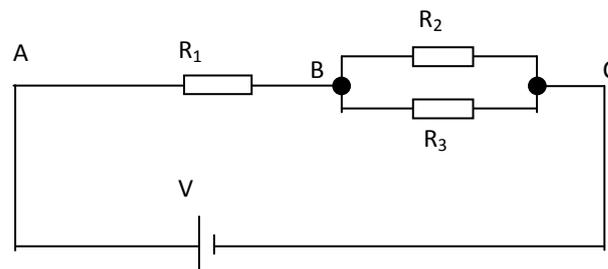
$$\frac{I}{V} = \frac{1}{R} \text{ sehingga } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Jika resistor hanya dua buah disusun paralel maka

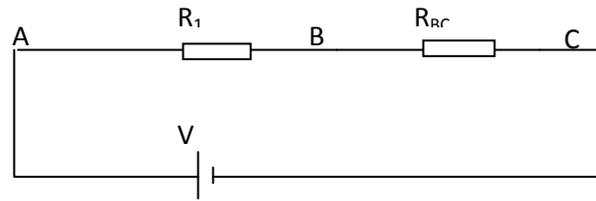
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

3. Sambungan Seri dan Paralel

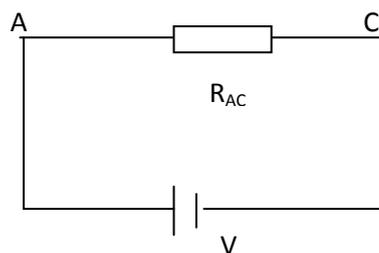
Sambungan seri-paralel merupakan sambungan atau rangkaian yang terdiri dari resistor-resistor yang tersambung dalam "sistem seri" maupun "sistem paralel". Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 14 di bawah ini.

Gambar 14. Rangkaian Sambungan Seri dan Paralel

Dalam rangkaian/sambungan ini, R_2 paralel dengan R_3, kemudian hambatan penggantinya (R_{BC}) disambung seri dengan R_1.

Untuk mencari hambatan pengganti dari sambungan di atas yaitu besarnya hambatan antara titik A – C dapat dilakukan dengan terlebih dahulu mencari hambatan pengganti antara titik B – C, yaitu R_{BC} yang diseri dengan R_1 dan R_2 dengan R_3. Selanjutnya R_{BC} ini diseri dengan R_1 yang hasilnya merupakan hambatan pengganti antara titik A – C yang disebut R_{AC}. Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 15 dan 16 di bawah ini.

Gambar 15. Hasil Penyederhanaan

$R_{BC} = R_1 // R_2$

$R_{AC} = R_1 + R_{BC}$

$R_{BC} = R_2 // R_3$

Gambar 16. Gambar Hasil Penyederhanaan

4. Sambungan "Bintang" dan "Segitiga"

Apabila tiga buah resistor disambung dengan jalan ketiga ujungnya disambung menjadi satu, sambungan ini disebut sambungan "bintang" (Y)"; jenis sambungan ini ditunjukkan oleh Gambar 17.a. Tetapi apabila ketiga resistor disambung dengan jalan ujung yang satu disambung dengan ujung hambatan yang lain seperti pada Gambar 17.b sambungan ini disebut sambungan "segitiga" atau delta.

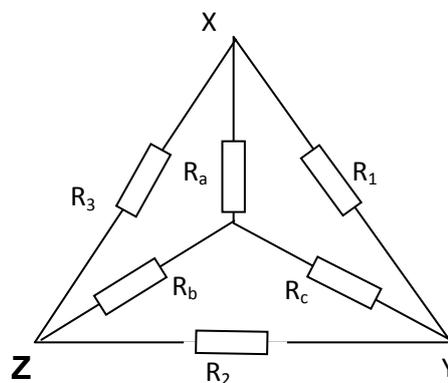
Untuk menyelesaikan persoalan model sambungan tersebut, perlu diubah menjadi sambungan jenis lain tetapi mempunyai nilai yang sama. Sehingga sambungan yang semula berbentuk bintang dapat diganti menjadi sambungan segitiga dan sebaliknya, yaitu sambungan berbentuk segitiga dapat diubah menjadi bentuk bintang.

a. Sambungan bintang b. Sambungan segitiga

Gambar 17. Resistor Sambungan Segitiga dan Bintang

a. Sambungan segitiga diubah menjadi sambungan bintang

Untuk mengganti sambungan segitiga menjadi sambungan bintang dapat ditunjukkan oleh Gambar 18 di bawah ini:

Hambatan R_1, R_2 dan R_3 merupakan hambatan semula yang tersambung segitiga, sedang R_a, R_b dan R_c merupakan hambatan pengganti yang tersambung bintang.

Gambar 18.

Sambungan Segitiga yang Diubah Menjadi Sambungan Bintang

Untuk mempermudah maka kita besarnya hambatan diukur dari titik X dan Y, maka besarnya hambatan ditinjau terhadap sambungan segitiga (sambungan semula) yaitu :

$$R_{XY} = R_1 \ // \ R_2 + R_3$$

$$= \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Besarnya hambatan ditinjau terhadap sambungan bintang:

$$R_{XY} = R_a + R_b$$

$$R_{XY} = R_1 // R_2 + R_3$$
$$= \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Besarnya hambatan ditinjau terhadap sambungan bintang :

$$R_{XY} = R_A + R_B$$

Jadi ditinjau terhadap titik X – Y didapat persamaan :

$$R_a + R_b = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \text{..............................(1)}$$

Analog jalan diatas dipandang terhadap titik Y – Z didapat :

$$R_b + R_c = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \text{...............................(2)}$$

Begitu juga dipandang terhadap titik Z – X didapat :

$R_c + R_a = \dfrac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$ ....(3)

Bila persamaan (1) dikurangi dengan persamaan (2) didapat :

$R_a - R_c = \dfrac{R_1 R_2 - R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$ (hasil ini ditambah persamaan (3)

$R_a + R_c = \dfrac{R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

———————————————— +

$2R_a = \dfrac{2R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

$R_a = \dfrac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

Selanjutnya bila pers. (1) dikurangi dengan pers. (3) kemudian hasilnya ditambah dengan pers. (2), didapatkan :

$R_b = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$

Begitu pula pers. (2) dikurangi dengan pers. (1) dan kemudian hasilnya ditambah dengan pers. (3) didapatkan :

$R_c = \dfrac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

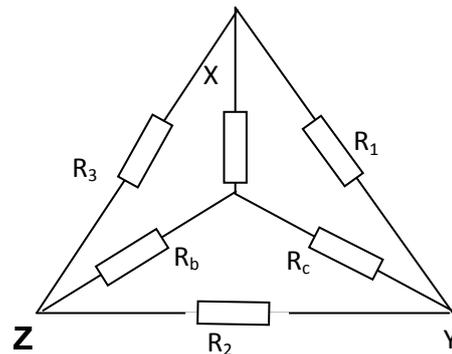
Dapat disimpulkan, jika sambungan segitiga diubah menjadi sambungan bintang, maka besarnya hambatan pada sambungan bintang memenuhi harga:

$R_s = \dfrac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

$R_b = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$

$$R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

b. Sambungan bintang diubah menjadi sambungan segitiga

Pada Gambar 19 di bawah, R_a, R_b dan R_c merupakan hambatan yang tersambung bintang, sedangkan R_1, R_2 dan R_3 merupakan hambatan-hambatan pengganti yang terhubung segitiga.

Gambar 19.

Sambungan Bintang diubah Menjadi Sambungan Segitiga

Untuk mencari besarnya hambatan pengganti (R_1, R_2, R_3) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

a. Kalikan R_a dengan R_b; R_b dan R_c, R_a dengan R_c (menggunakan persamaan-persamaan yang didapat dari sambungan segitiga diubah menjadi sambungan bintang.

b. Jumlahkan hasil-hasil persamaan tersebut.

$$R_a R_b = \frac{R_i^{\,2} R_2 R_3}{(R_i + R_2 + R_3)^2}$$

$$R_b\,R_c = \frac{R_2{}^2 R_1 R_3}{(R_i + R_2 + R_3)^2}$$

$$R_a\,R_c = \frac{R_3{}^2 R_1 R_2}{(R_i + R_2 + R_3)^2}$$

Hasil-hasil diatas dijumlahkan sehingga akan didapatkan :

$$R_a\ R_b + R_b\ R_c + R_a\ R_c = \frac{R_1{}^2 R_2 R_3 + R_2{}^2 R_1 R_3 + R_3{}^2 R_1 R_2}{(R_i + R_2 + R_3)^2}$$

$$= \frac{R_1 R_2 R_3 (R_1 + R_2 + R_3)}{(R_i + R_2 + R_3)^2}$$

$$= R_1 \frac{R_2 R_3}{(R_i + R_2 + R_3)}$$

Kemungkinan variasi persamaan.

- $R_a\,R_b + R_b\,R_c + R_a\,R_c = R_1 \frac{R_2 R_3}{(R_i + R_2 + R_3)}$

  $= R_1\,R_c$

- $R_a\,R_b + R_b\,R_c + R_a\,R_c = R_2 \frac{R_2 R_3}{(R_i + R_2 + R_3)}$

  $= R_2\,R_a$

- $R_a\,R_b + R_b\,R_c + R_a\,R_c = R_3 \frac{R_2 R_3}{(R_i + R_2 + R_3)}$

  $= R_3\,R_b$

Dari persamaan-persamaan di atas didapat harga hambatan pengganti dari sambungan bintang yang diubah kw segitiga, yaitu:

$$R_1 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c}{R_c}$$

$$R_2 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c}{R_a}$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c}{R_b}$$

Lembar Kerja

Alat dan Bahan :

1. Multimeter atau Ohmmeter .... 1 buah
2. Sumber tegang DC atau variabel 0 – 20 V .... 1 buah
3. Amperemeter DC .... 1 buah
4. Kawat nikelin diameter 0,1 m .... 1 buah
5. Kabel penghubung .... secukupnya

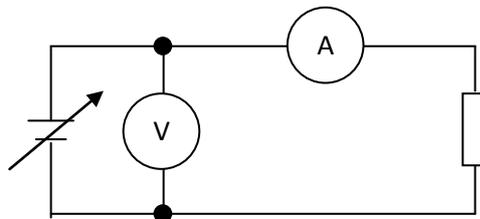
Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Jangan menghubungkan ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar!
2. Perhatikan batas ukur dari alat ukur yang digunakan.jangan menggunakan alat ukur melebihi kemampuan!
3. Perhatikanlah kemampuan arus dari resistor, jangan memberi arus melebihi kapasitor!
4. Hindari penggunaan sambungan terbuka!
5. Letakan peralatan pada tempat aman mudah dijangkau dan mudah diamati!

6. Pastikan posisi awal sumber tegangan DC pada posisi 0!

Langkah Kerja

1. Siapkan alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini!
2. Ambillah kawat nikelin sepanjang 4 meter!
3. Ukurlah tahanan kawat nikelin sepanjang 1 meter!
4. Ukurlah tahanan kawat nikelin sepanjang 4 meter!
5. Lipatlah kawat nikelin 4 meter menjadi 2 meter dan satukan ujung yang dilipat! Ukurlah tahanan kawat nikelin yang sudah dilipat dan ujungnya disatukan!
6. Lipatlah kawat 2 meter tadi menjadi 1 meter sehingga terdapat 4 kawat paralel dan satukan ujungnya. Ukurlah tahanan kawat tersebut!

7. Buatlah rangkaian seperti Gambar 20 di bawah ini!

Gambar 20.

Pengamatan Terhadap Resistansi Kawat Nikelin.

8. Aturlah tegangan sumber seperti nilai-nilai dalam Tabel 5! Catatlah besarnya arus setiap perubahan harga tegangan!

9. Gantilah kawat nikelin menjadi 4 meter kemudian lakukan kembali langkah 7!

10. Gantilah kawat nikelin menjadi 4 meter dengan kawat 1 meter paralel 4 buah kemudian lakukan kembali langkah 7!

11. Masukkan data-data hasil pengamatan ke dalam Tabel 5!

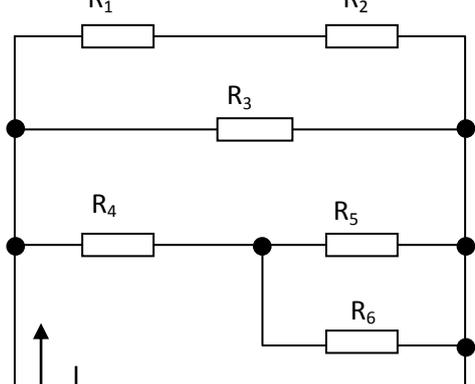
Tabel 5. Tabel Pengamatan Kawat Nikelin

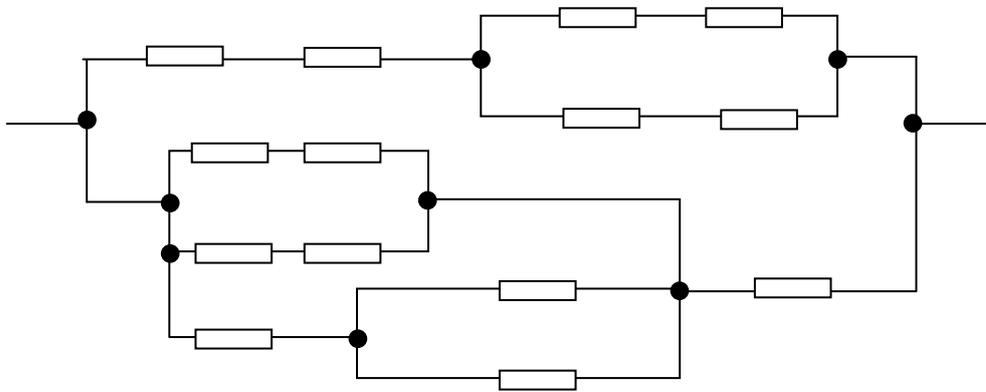
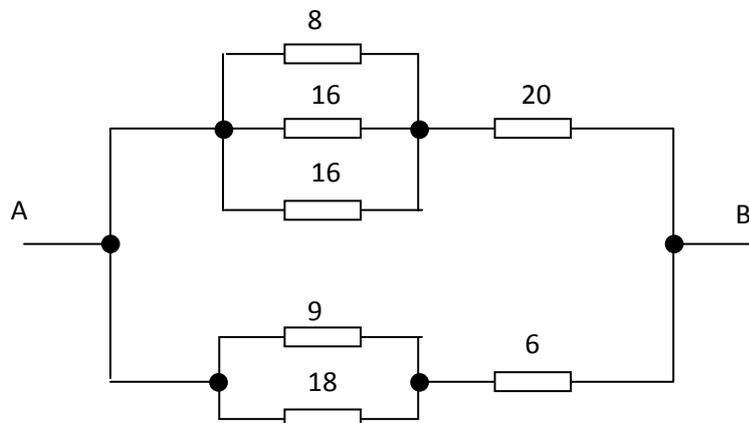
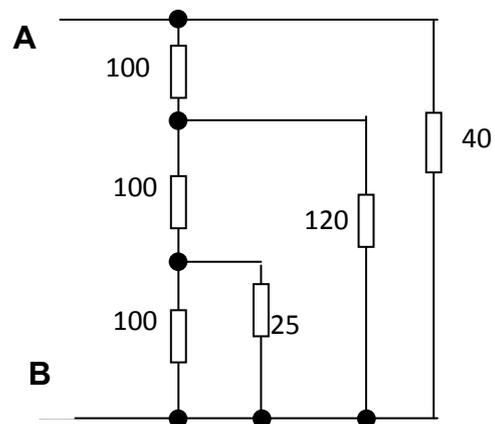
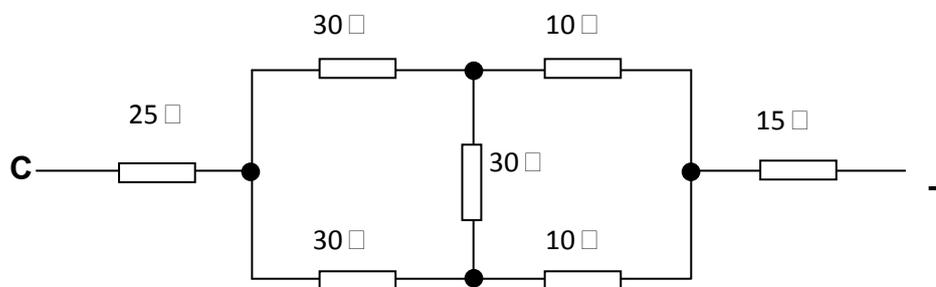
V (Volt)	I (mA)		
	1 meter	4 meter	1 m paralel
2			
4			
6			
8			
10			

12. Hitunglah besarnya tahanan seri dan paralel, dan bandingkan hasil dengan pengukuran!

Lembar Latihan

1. Hitunglah besarnya R_{AB} dan I dari rangkaian di bawah ini !

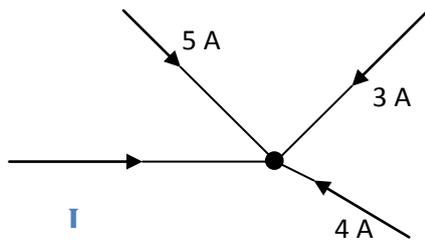
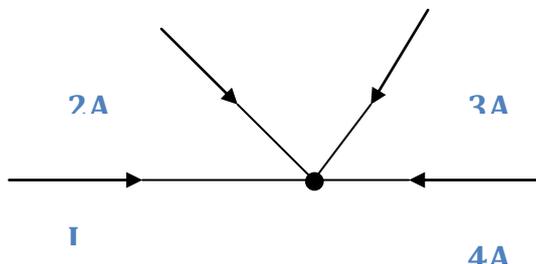
Diketah ırnya masi ing R adalah sebagai berikut :

R_1 = 2 Ohm, R_2 = 10 Ohm, R_3 = 15 Ohm, R_4 = 6 Ohm, R_5 = 60 Ohm dan R_6 = 40 Ohm.

2. Berap besar hambatan pengganti antara A dan B, bila besarnya ɔatan y ɔasang masir ;ing adalah 20 Ohm !

3. Hitunglah hambatan ekivalen antara A dan B dari rangkaian di bawah ini dalam !

4. Hitunglah besarnya hambatan ekivalen antara A dan B dari rangkaian di bawah ini !

5. Hitunglah hambatan ekivalen anatara C dan D dari rangkaian di bawah ini!

A. Pertanyaan

1. Tentukan jumlah elektron yang melewati penampang penghantar setiap detik dan hitung kepadatan arus dalam suatu penghantar yang berdiameter 1 mm dan mengalir arus listrik sebesar 1 mA!

2. Sebuah lampu pijar 225 V, 75 watt, filamennya terbuat dari tungstan. Dengan menggunakan jembatan Wheatstone resistansi pada suhu 25°C, 40 Ohm. Berapakah temperatur tungstan 5 x 10^{-3} per °C pada 25°C?

3. Hitunglah resistivitas tembaga bila diketahui resistansi kawat tembaga yang panjang 200 m adalah 21 □ dan jika diameter kawat adalah 0,44 mm!

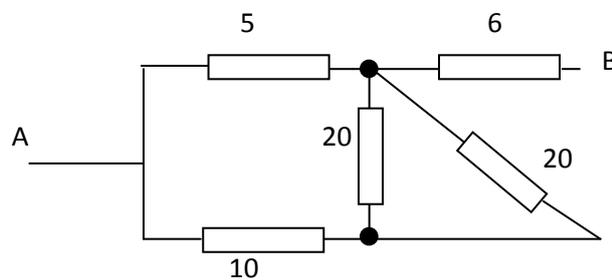
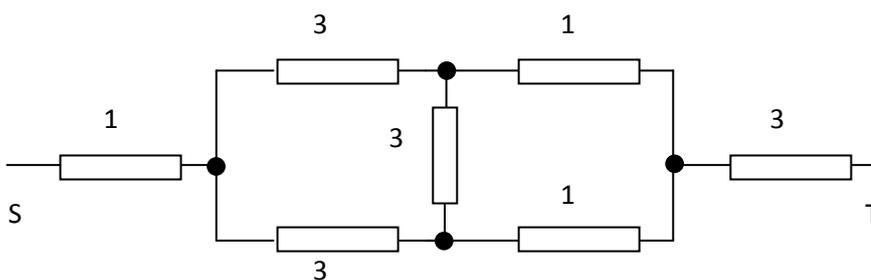
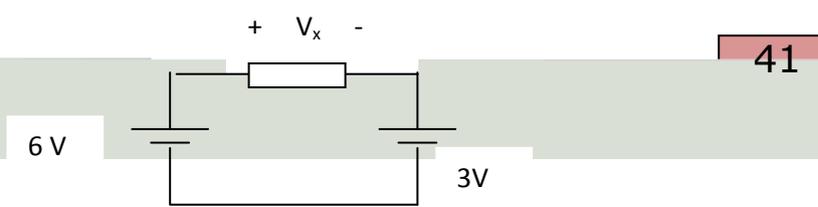
4. Hitunglah arus I_x dari gambar di bawah ini !

5. Hitunglah arus I pada gambar di bawah ini !

6. Hitunglah resistansi masing-masing kawat jika diketahui resistansi dua kawat adalah 25 ohm pada saat disusun seri dan 6 □ pada saat disusun paralel !

7. Kawat nikelin panjang 2 meter mempunyai tahanan 50 ohm. Jika arus yang mengalir pada kawat 200 m A maka hitunglah :

   a. tegangan antara ujung kawat

   b. tegangan kawat sepanjang 1 meter

   c. tegangan kawat sepanjang 40 cm

8. Hitunglah R_{AB} dari susunan tahanan di bawah ini !

9. Hitunglah R_{st} dari susunan tahanan di bawah ini !

10. Hitunglah tegangan V_x dari rangkaian di bawah ini !

B. Kriteria Penilaian

<table>
<tr><th>Kriteia</th><th>Skor
(1 – 10)</th><th>Bobot</th><th>Nilai</th><th>Keterangan</th></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td>0,5</td><td></td><td rowspan="11">Syarat Lulus nilai minimal 70</td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td>0,5</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td>0,5</td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td></td><td>0,5</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td></td><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td></td><td>2</td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td></td><td>2</td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td></td><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Nilai akhir</td><td></td></tr>
</table>

LEMBAR JAWABAN LATIHAN

A. Penghantar Listrik

1. Jumlah elektron yang melalui penampang kawat selama 1 detik adalah $= 6{,}25 \times 10^{17}$ buah
2. Kepadatan arus dalam kawat aluminium adalah = 0,8 A / mm^2
3. Resistansi kawat adalah = 500 ohm
4. Besarnya resistansi pada suhu 62 □C adalah = 156,4 ohm
5. Tahanan awal lampu adalah = 98 ohm

B. **HUKUM OHM DAN KIRCHHOFF**

1. Besarnya arus adalah =2 A
2. Besarnya daya adalah = 10 W dan 20 W
3. Besarnya arus adalah + 0,5 A
4. Besarnya daya adalah = 1W , 2 W, 3 W
5. Besarnya tegangan adalah = 1V , 2V, 3V
6. Besarnya I_x = 5A
7. Besarnya tahanan = 6□
8. Besarnya arus total = 5 A
9. Besarnya daya total = 70 W

C. RESISTOR SERI DAN PARALEL

1. Besarnya R AB adalah = 6□

   Besarnya arus adalah = 2 A
2. Besar hambatan pengganti antara A dan B adalah =20,87□
3. Hambatan Ekivalaen antara A dan B adalah = 8 □
4. Hambatan Ekivalaen antara A dan B adalah = 32 □
5. Hambatan Ekivalaen antara C dan D adalah = 60 □

Pembahasan Lembar Evaluasi

1. Muatan elektron = 1,6 x 10^{-19}C

   Untuk arus 1A jumlah muatan yang mengalir 1 Coulomb setiap detik. Sehingga untuk arus 1 mA muatan yang mengalir 10^{-3} Coulomb, jadi jumlah elektron yang mengalir dalam penghantar tersebut adalah :

   $$= \frac{10^{-3}}{1{,}6\text{x}10^{-19}} = 6{,}2 \text{ x } 10^{15} \text{ buah}$$

   luas penampang penghantar adalah

   $$A = \frac{\pi d^2}{2} = \frac{\pi}{4}\text{mm}^2 = \frac{\pi}{4}.10^{-6}\text{m}^2$$

   Jadi kepadatan arusnya adalah :

   $$J = \frac{I}{A} = \frac{10^{-3}}{\pi/4.10^{-6}} = 1273\frac{\text{A.}}{\text{m}^2}$$

2. Arus kerja dari lampu adalah :

   $$I = \frac{P}{V} = \frac{75}{225} = 0{,}35\text{ A}$$

   Resistansi lampu saat menyala

   $$Rt = \frac{225}{0{,}33} = 675\,\Omega$$

   Misalkan t°C temperatur kerja dari lampu sehingga

   Rt = 675 R 25 = 40 □ 25 = 5 x 10^{-3}/°C

   Rt = R 25 {1 + □ 25 (t – 25)}

   675 = 40 {1 + 5 x 10^{-3} (t – 25)}

   t = 3234 °C

3. L = 200 m R = 21 □ d = 0,44 x 10^{-3} m.

Luas penampangnya adalah

$$A = \frac{\pi\, d^2}{4} = \frac{\pi\,(0{,}44 \times 10^{-3})^2}{4}$$

Sehingga resistivitas tembaga tersebut adalah

$$\rho = \frac{A\,R}{L} = \frac{\pi\,(0{,}44 \times 10^{-3})^2}{4 \times 200} = 1{,}597 \times 10^{-8} \text{ ohm m.}$$

4. Arus I_x dari gambar adalah = –11 A
5. Arus I pada gambar adalah = –9 A
6. Misalkan resistansi maasing-masing R_1 dan R_2 yang disusun seri adalah $R_1 + R_2 = 25$

   Disusun paralel

   $$6 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

   jika digabung

   $$6 = \frac{R_1(15 - R_1)}{25}$$ atau $R_1^2 - 25\,R_1 + 150 = D$

   $R_1 = 10$ ohm $R_2 = 15$ ohm.

7. a. tegangan antara ujung kawat = 10 volt

   b. tegangan kawat sepanjang 1 meter = 5 volt

   c. tegangan kawat sepanjang 40 cm = 2 volt

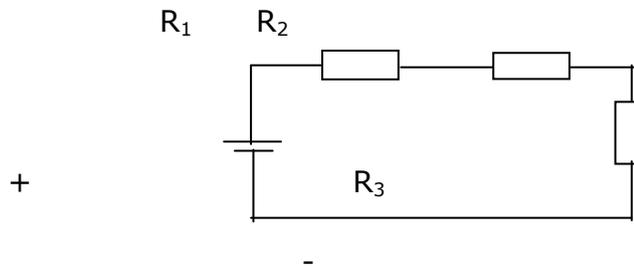
8. R_{AB} dari susunan tahanan tersebut adalah =10 ohm
9. R_{st} dari susunan tahanan tersebut adalah = 5 k ohm
10. Tegangan V_x dari rangkaian tersebut adalah = 9 volt

Bab 3

TEGANGAN DAN DAYA LISTRIK

Lembar Informasi

A. Penerapan Hukum Ohm dan Kirchoff

Untuk menghitung besar arus atau tegangan pada suatu rangkaian sederhana dapat menggunakan hukum ohm dan hukum Kirchoff secara bersama–sama. Sebagai contoh perhatikan rangkaian pada Gambar 21 di bawah ini.

Gambar 21. Contoh Rangkaian

Menurut hukum ohm, tegangan pada masing-masing tahanan adalah sebagai berikut :

R_1 disebut $V_{R1} = IR_1$

R_2 disebut $V_{R2} = IR_2$

R_3 disebut $V_{R3} = IR_3$

Berdasarkan hukum Kirchhoff II tentang tegangan bahwa jumlah tegangan dalam rangkaian tertutup sama dengan nol. Berdasarkan rangkaian di atas hukum Kirhhoff II persamaan tegangan dapat ditulis sebagai berikut :

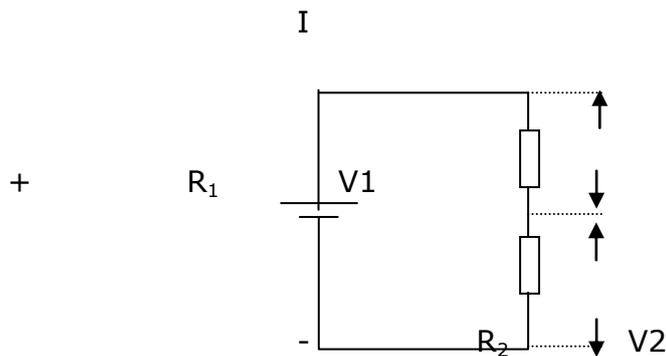
$$-V + IR_1 + IR_2 + IR_3 = 0$$

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = V$$

$$I(R_1 + R_2 + R_3) = V$$

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

1. Rangkaian Pembagi Tegangan

Dalam rangkain listrik arus searah untuk meperoleh suatu tegangan tertentu dapat menggunakan suatu kombinasi tahanan tertentu , rangkaian seperti ini disebut rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi Tegangan yang sederhana dapat ditunjukkan oleh Gambar 22.

Gambar 22. Rangkaian Pembagi Tegangan

Besarnya arus yang mengalir dalam rangkaian adalah :

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

Tegangan pada R_2 adalah :

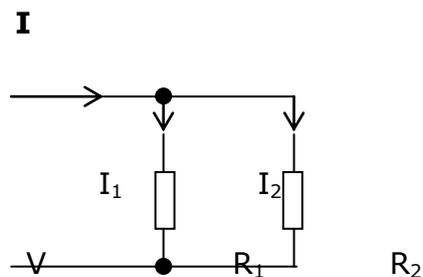
$$V_2 = I \cdot R_2$$
$$= \frac{V}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \bullet V$$

Dengan cara yang sama tegangan pada R_1 diperoleh

$$V_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

2. Rangkaian Pembagi Arus

Dalam rangkaian pembagi tegangan tahanan disusun secara seri, sedangkan dalam rangkaian pembagi arus tahanan disusun secara paralel. Rangkaian pembagi arus ditunjukkan oleh Gambar 23.

Gambar 23. Gambar Rangkaian Pembagi Arus

Persamaan-persamaan yang didapatkan dari rangkaian di atas adalah

$$V = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 \qquad V = I \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

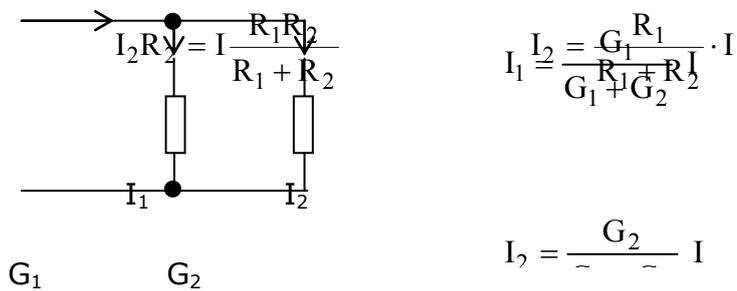
sebagai berikut :

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V \qquad R_{ek} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 R_1 = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I$$

Jika dinyatakan dalam konduktansi (lihat Gambar 24)

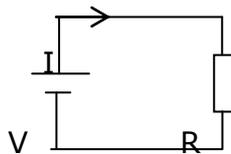
$$I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} \cdot I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{G_2}{\quad} I$$

Gambar 24. Rangkaian dengan Konduktansi.

3. **Daya dan Energi Arus Searah**

Jika suatu sumber tegangan V diberikan beban R sehingga arus yang mengalir pada I, maka sumber tegangan menyalurkan daya listrik sedangkan R menyerap daya listrik . Kedua daya ini besarnya sama

Perhatikan Gambar di bawah ini.

Besarnya Daya

P = V . I

P = daya (watt)

V = tegangan (volt)

Gambar 25.

Rangkaian Dengan Sumber Tegangan V dengan Beban R

Karena V = I . R , maka jika V diganti dengan IR diperoleh :

$P \quad = IR . I`$

$= I^2 R$

Jika I diganti dengan V/R pada persamaan

$P \quad = V . I$

$= V . V/R$

$= V^2/R$

sehingga diperoleh

$$\mathbf{P = V . I = I^2 . R = V^2 / R}$$

Energi listrik yang disalurkan oleh sumber tegangan sama dengan energi listrik yang diserap oleh R . Besar energi listrik yang disalurkan sama dengan daya dikalikan waktu.

$W \quad = P . t$

$W \quad = V . I . t$

$= I^2 R T$

$= (V^2 / R) . t$

Dalam Sistem Internasional satuan daya adalah watt, satuan waktu adalah detik sehingga satuan energi (W) adalah Watt detik = joule

Dalam sehari – hari satuan energi listrik dinyatakan dengan kwh (kilo watt jam)

1 kwh = 3,6 x 10^6 joule

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

1. Power supply dc 0 – 20 V................................ 1 buah
2. Ampere meter DC... 3 buah
3. Multimeter .... 1 buah
4. Tahanan 100 □ , 5 watt................................... 1 buah
5. Tahanan 200 □ , 5 watt................................... 1 buah
6. Termometer .... 1 buah

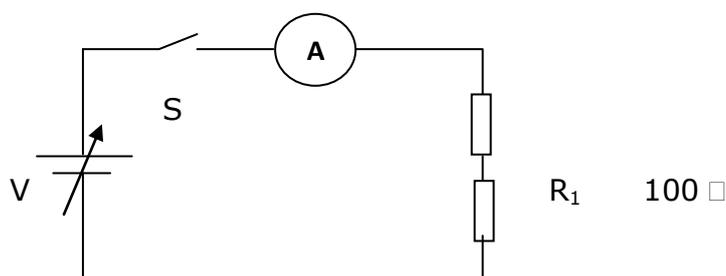
7. Gelas Ukur .... 1 buah
8. Stop Watch .... 1 buah
9. Pemanas Air 220 V / 250 watt .... 1 buah
10. Saklar .... 1 buah
11. Kabel penghubung .... secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Jangan menghubungkan ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar!
2. Perhatikan polaritas dari sumber tegangan dan alat-alat ukur. Jangan memasang alat ukur dengan polaritas yang salah!
3. Perhatikan batas ukur dari alat-alat ukur dan kemampuan dari tahanan! Arus yang mengalir pada alat ukur tidak melewati batas ukur dan diluar kemampuan arus maksimal pada tahanan!
4. Letakkan peralatan pada tempat yang aman dan mudah diamati!
5. Posisi power supply dalam kondisi minimum!

Langkah Kerja

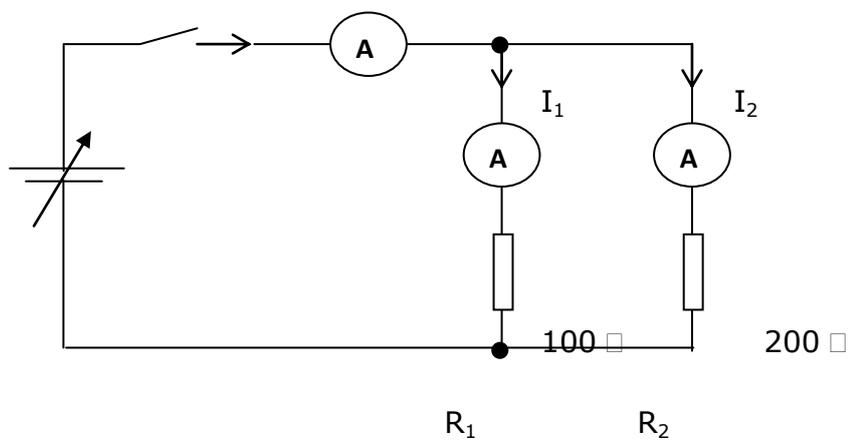
Percobaan I (Pembagi Tegangan dan Arus)

1. Buatlah rangkaian seperti Gambar 6 berikut!
2. Setelah rangkaian benar tutuplah saklar dan aturlah tegangan seperti Tabel 1 beikut! Catatlah besar arus yang mengalir serta ukur tegangan pada R_1 dan R_2 pada setiap perubahan tegangan!

R₂ 200 □

Gambar 26. Rangkaian Percobaan Pembagi Tegangan

Tabel 6. Pengamatan Rangkaian Pembagi Tegangan

V	I	V_1	V_2
3			
6			
9			
12			

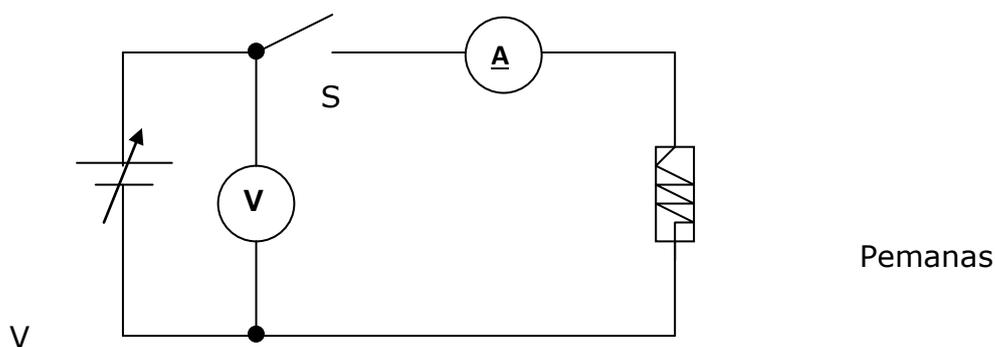
3. Hitunglah besar arus dan tegangan V_1, V_2 berdasarkan teori dan bandingkan hasilnya dengan hasil pengukuran!
4. Buatlah rangkaian seperti Gambar di bawah ini!

Gambar 27. Rangkaian Percobaan Pembagi Arus

5. Setelah rangkaian benar tutuplah saklar dan aturlah tegangan seperti pada Tabel 2. Catatlah I, I1 dan I2 pada setiap perubahan tegangan!
6. Hitunglah besar arus pada setiap perubahan tegangan berdasarkan teori lalu bandingkan dengan hasil pengukuran!
7. Lanjutkan dengan percobaan ke-2!

Tabel 7. Pengamatan Rangkaian Pembagi Arus.

V (volt)	I (mA)	I_1	I_2
2			
4			
6			
8			
10			
12			

Percobaan II (Perubahan Energi Listrik Menjadi Panas)

1. Isilah gelas ukur dengan air sebanyak 100 ml, kemudian masukkan pemanas ke dalam air dan ukurlah suhu air!
2. Buatlah rangkaian seperti Gambar di bawah ini!

Gambar 28.

Rangkaian Percobaan Perubahan Energi Listrik Menjadi Panas

3. Aturlah tegangan hingga amperemeter menunjukkan nilai 0,2 A
4. Hidupkan stop watch sacara bersamaan saat arus menunjukkan 0,2 A!
5. Catatlah suhu air setiap variasi waktu seperti Tabel 3 di bawah ini!

Tabel 8. Pengamatan Perubahan Suhu Tiap Waktu

Waktu (menit)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Suhu (^{0} C)											

6. Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut!

   Panas yang diterima air :

   $$Q = m \cdot \Delta t = 100 \times \Delta t \text{ kalori}$$

   Energi listrik yang diberikan sumber :

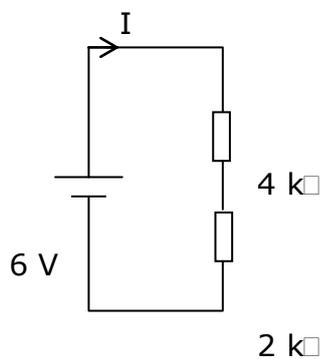
   $$W = V \cdot I \cdot t \text{ joule}$$

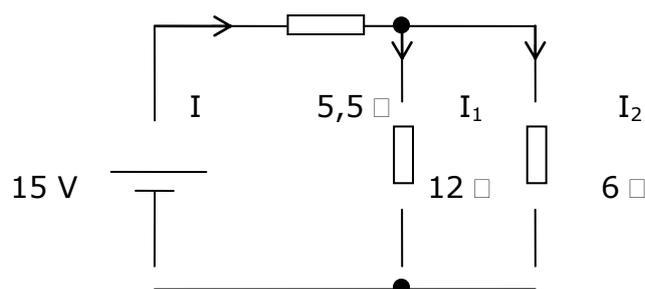
7. Hentikanlah kegiatan dan kemudian kembalikan semua peralatan ke tempat semula! Kemudian buatlah kesimpulan secara keseluruhan berdasarkan percobaan tadi!

Lembar Latihan

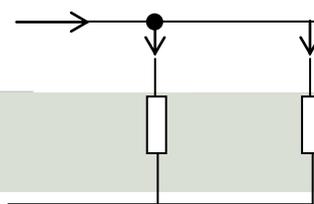
1. Dua buah tahanan 50 ohm dan 100 ohm disusun seri dihubungkan dengan dua buah baterey yang diseri masing–masing 1,5 volt. Hitunglah arus yang mengalir dan tegangan pada tiap–tiap tahanan!

2. Sebuah aki 6 V mempunyai tahanan dalam 0,5 ohm dihubungkan dengan tahanan 5,5 ohm. Hitunglah arus yang mengalir dan tegangan pada tahanan!

3. Perhatikan rangkaian di bawah ini!

   Hitunglah arus yang mengalir dan tegangan pada setiap tahanan !

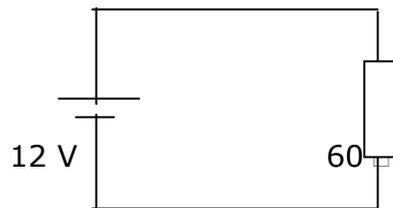
4. Perhatikan rangkaian dibawah ini !

   Hitunglah I, I_1, I_2!

5. Hitunglah tegangan pada setiap tahanan pada soal no. 4!

6. Hitunglah arus pada setiap cabang dibawah ini!

I I$_1$ 1 A

0,1 mho 0,05 mho

7. Hitunglah daya total yang diserap pada soal no.6!

8. Perhatikan rangkaian dibawah ini !

Hitunglah !

a. Daya yang diserap tahanan

b. Energi listrik yang diserap dalam 1 jam

c. Panas yang dilepas tahanan dalam 1 jam

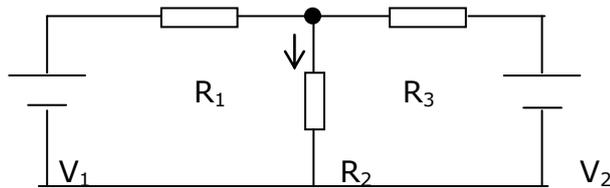
B. Teori Superposisi , Thevenin dan Norton

1. Teori Superposisi

Teori superposisi digunakan untuk menganalisa rangkaian yang terdiri dari beberapa sumber dan tahanan. Sumber dapat berupa tegangan atau sumber arus.

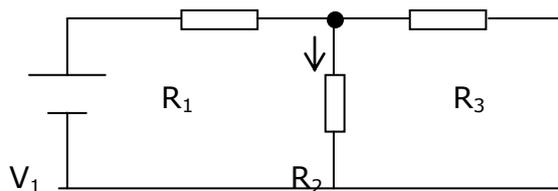
Teori superposisi memudahkan menentukan arus pada suatu cabang dengan menganggap sumber bekerja satu per satu. Arus total pada

cabang tersebut merupakan jumlah aljabar dari arus tiap-tiap sumber dengan memperhatikan arah arus.

Apabila mengerjakan satu sumber, maka sumber yang lain dihubung singkat (untuk sumber tegangan) dan dihubung terbuka untuk sumber arus. Untuk lebih jelasnya perhatikan rangkaian pada Gambar di bawah ini.

Gambar 29. Rangkaian dengan Dua Sumber

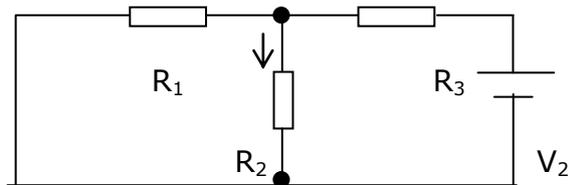
Untuk menghitung arus pada R_2 dapat dilakukan dengan menghitung arus yang disebabkan V_1 dan V_2 secara bergantian kemudian dijumlahkan .

Langkah – langkah menghitung arus pada R_2 adalah sebagai berikut :

a. Arus oleh sumber tegangan V_1 adalah I_1, rangkaian ekivalen seperti Gambar di bawah ini.

Gambar 30. Rangkaian Ekivalen

Dalam hal ini V_2 dihubung singkat.

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1 + R_2 // R_3} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

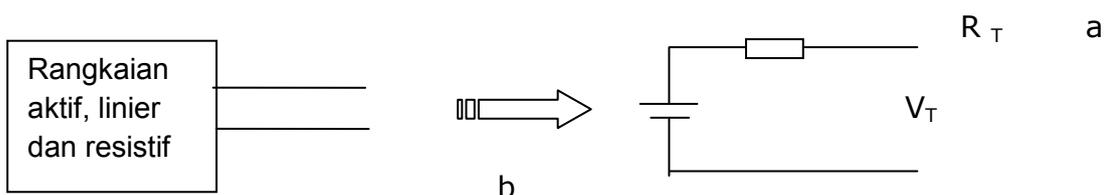
b. Menghitung arus oleh sumber tegangan V_2 , V_1 dihubung singkat maka rangkaian ekivalen sebagai berikut :

Gambar 31. Sumber Tegangan V_1 Dihubung Singkat.

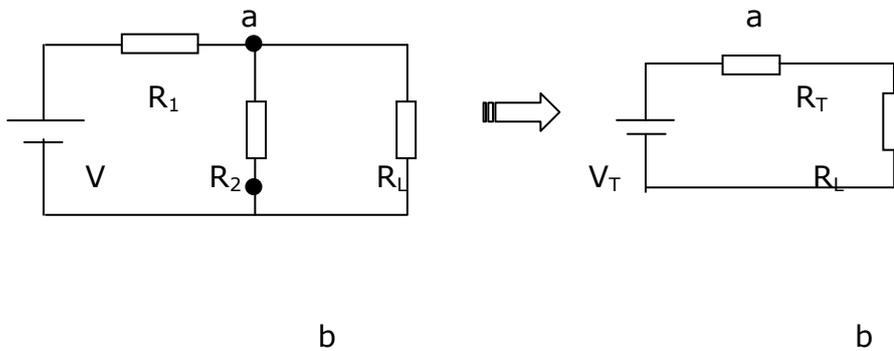
$$I_2 = \frac{V_2}{R_3 + R_2 // R_1} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

c. Arus yang mengalir pada R_2 yaitu I merupakan jumlah dari I_1 dan I_2 karena arahnya sama.

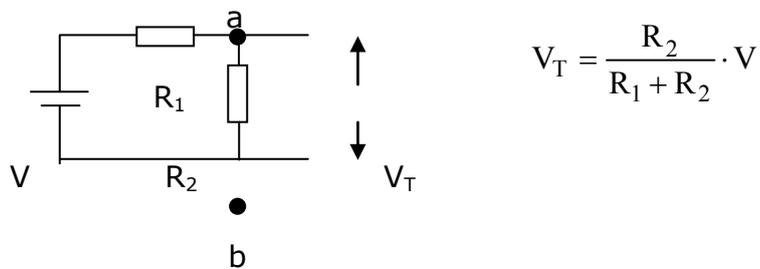
$$I = I_1 + I_2$$

2. Teori Thevenin

Suatu rangkaian aktif, linier dan resistif yang mengandung satu atau lebih sumber tegangan atau sumber arus dapat diganti dengan sebuah sumber tegangan dan sebuah tahanan yang diseri, perhatikan Gambar .

Gambar 32. Rangkaian Dengan Sumber Tegangan Pengganti

V_T disebut tegangan pengganti Thevenin, R_T disebut tahanan pengganti Thevenin. Sebagai contoh perhatikan rangkaian pada Gambar di bawah ini.

Gambar 33. Rangkaian dengan R Pengganti

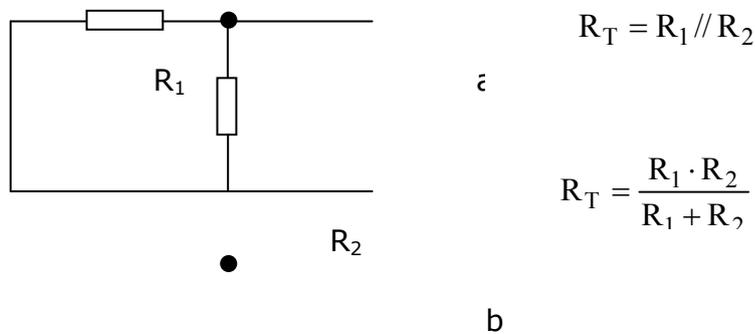
Untuk menghitung V_T beban R_L dilepas, tegangan antara a dan b tanpa R_L merupakan tegangan V_T.

$$V_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V$$

Gambar 34. Rangkaian Untuk Menghitung V_T

Untuk menghitung R_T dengan mencari tahanan antara a dan b (dengan sumber tegangan dihubung singkat)

Hal ini dapat diperjelas dengan melihat Gambar di bawah ini.

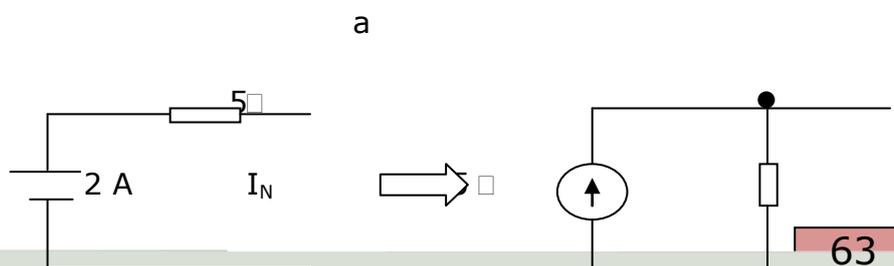
$$R_T = R_1 // R_2$$

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Gambar 35.

Menghitung R_T Dengan Sumber Tegangan Dihubung Singkat

3. Teori Norton

Suatu rangkaian aktif, linier dan reisistif yang mengandung satu atau lebih sumber tegangan atau sumber arus dapat diganti dengan sebuah sumber arus dan sebuah tahanan yang diparalel dengan sumber arus.

Untuk menghitung sumber arus beban dilepas lalu dicari arus hubung singkat. Sedangkan untuk menghitung tahanan pengganti caranya sama dengan mencari tahanan pengganti Thevenin. Antara teori Thevenin dan Norton mempunyai hubungan yang sangat erat. Jika rangkaian pengganti Thevenin sudah dihitung maka rangkaian pengganti Norton mudah ditentukan. Misalnya rangkaian pengganti Thevenin di atas diganti Norton menjadi seperti Gambar berikut ini.

10 V

b

$$I_N = \frac{10\ V}{5\ \Omega} = 2\ A$$

Gambar 36. Ekivalen Teori Norton

Alat dan Bahan

1. Sumber tegangan DC .... 2 buah
2. Ampere meter DC .... 1 buah
3. Tahanan 100 □ , 5 W .... 1 buah
4. Tahanan 300 □ , 5 watt .... 1 buah
5. Tahanan 200 □ , 5 watt .... 1 buah
6. Multimeter .... 1 buah
7. Kabel penghubung .... secukupnya
8. Saklar .... 1 buah

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

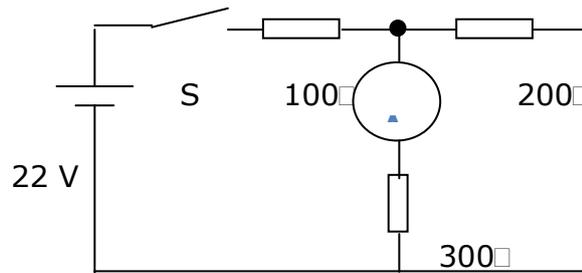
1. Pastikan posisi sumber tegangan dc pada kondisi awal selalu pada 0!
2. Jangan menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar!
3. Perhatikan polaritas sumber dan alat-alat ukur. Jangan menyambung dengan polaritas yang terbalik!
4. Perhatikan batas ukur dari alat ukur yang digunakan . Hitunglah dulu arus yang mengalir berdasarkan teori. Setelah dihitung baru dipasang alat ukur yang sesuai!
5. Letakkan alat ukur pada tempat yang aman dan mudah diamati!
6. Hindari membuat sambungan kabel dalam keadaan terbuka!

Langkah Kerja

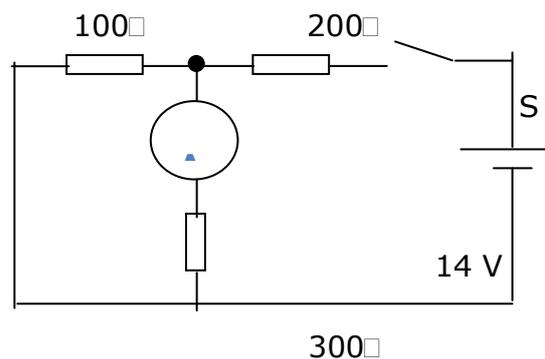
1. Buatlah rangkaian seperti Gambar 17 di bawah!

2. Aturlah tegangan keluaran dari sumber tegangan dc sehingga menunjukkan nilai 22 volt!

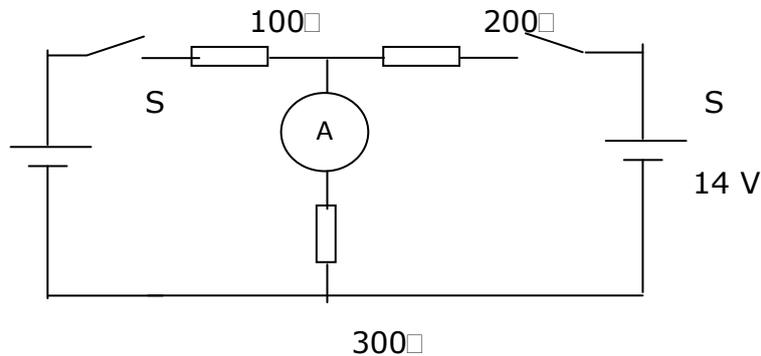
3. Setelah rangkaian benar hubungkan saklar S dan catat arus yang mengalir!

4. Lepas saklar dan sumber tegangan, rangkaian masih seperti semula!

Gambar 37. Rangkaian Percobaan

5. Atur tegangan keluaran dari sumber tegangan yang lain sehingga menunjukkan nilai 14 volt!

6. Buatlah rangkaian seperti Gambar 20 di bawah ini!

Gambar 38. Rangkaian Percobaan

7. Setelah rangkaian benar hubungkan saklar S catat arus yang mengalir!

8. Buatlah rangkaian seperti Gambar di bawah!

Gambar 39. Rangkaian Percobaan Dengan Dua Sumber

9. Setelah rangkaian benar tutuplah kedua saklar dan catat arus yang mengalir!

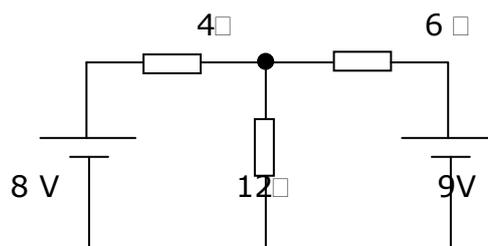
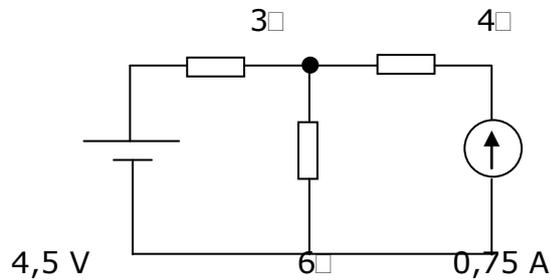
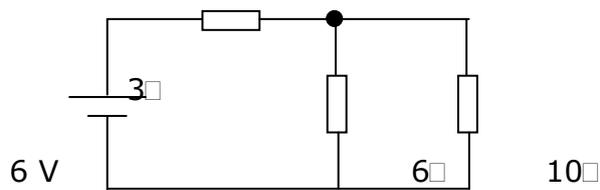
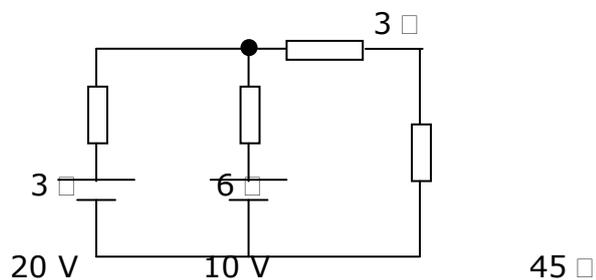
10. Hitunglah arus pada ketiga langkah percobaan bandingkan dengan hasil pengukuran!

11. Hentikanlah kegiatan dan kemudian kembalikan semua peralatan ke tempat semula!

12. Buatlah kesimpulan secara keseluruhan berdasarkan percobaan tadi!

Lembar Latihan

1. Hitunglah arus yang mengalir pada tahanan 12 ohm dengan menggunakan teori superposisi !

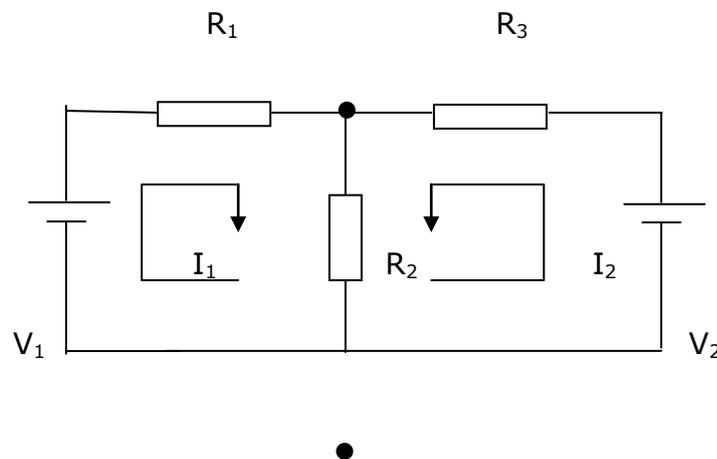
•

2. Hitunglah arus yang mengalir pada tahanan 6 ohm dari rangkaian di bawah ini!

3. Hitunglah daya yang diserap tahanan 10 ohm dengan menggunakan teori Thevenin!

4. Hitunglah arus yang mengalir pada tahanan 45 ohm dari rangkaian di bawah ini!

5. Hitunglah energi yang diserap tahanan 45 ohm pada soal no. 4 selama 5 menit!

C. Analisis Loop

Lembar Informasi

Teknik menganalisis rangkaian listrik dengan menggunakan analisis loop merupakan pengembangan dari penggunaan hukum Kirchoff II tentang tegangan. Persamaan-persamaan loop merupakan persamaan tegangan dalam rangkaian tertutup. Langkah-langkah dalam analisis loop ini untuk menentukan arus loop, persamaan tegangan, dan metode penyelesaian persamaan tegangan.

1. Arus Loop

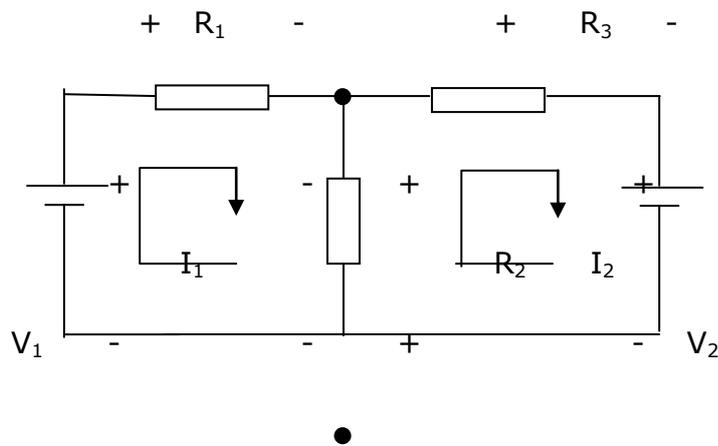
Arus dalam rangkaian tertutup digambarkan dengan arus loop yang dapat diberi arah sembarang. Jika hasil perhitungan menghasilkan nilai negatif maka arah arus terbalik. Jika pada suatu cabang rangkaian ada dua arus loop maka arus riil dari cabang tersebut merupakan jumlah dari arus loop sesuai dengan tandanya. Perhatikan Gambar berikut ini.

Gambar 40. Cabang Rangkaian Dengan Arus Loop.

2. Persamaan Tegangan

Persamaan tegangan diuraikan berdasarkan hukum Kirchoff tentang tegangan, yaitu jumlah tegangan dalam suatu rangkaian tertutup

sama dengan nol. Dalam menuliskan persamaan tegangan perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Untuk sumber tegangan arus masuk polaritas negatif persamaan tegangan ditulis negatif, masuk polaritas positif ditulis positif.
- Untuk tahanan ujung tempat arus loop polaritas positif dan tempat keluar polaritas negatif.

Sebagai contoh perhatikan rangkaian pada Gambar di bawah ini.

Gambar 41

Rangkaian Untuk Menguraiakan Persamaan Tegangan

Persamaan tegangan loop I

$- V_1 + I_1R_1 + (I_1 - I_2) R_2 = 0$

$- V_1 + I_1R_1 + I_1 R_2 + I_2 R_2 = 0$

$I_1 (R_1 + R_2) - I_2 R_2 = V_1$.................(1)

Persamaan tegangan loop II

$V_2 + (I_2 - I_1) R_2 + I_2R_3 = 0$

$V_2 + I_2R_2 - I_1R_2 + I_2R_3 = 0$

$- I_1R_2 + I_2 (R_2 + R_3) \quad = - V_2$...............(2)

Jika persamaan (1) dan (2) ditulis kembali :

$I_1 (R_1 + R_2) - I_2 R_2 \quad = V_1$

$- I_1R_2 + I_2 (R_2 + R_3) \quad = - V_2$

Kedua persamaan di atas merupakan dua persamaan linier dengan dua variabel, yaitu I_1 dan I_2. Kedua persamaan di atas dapat ditulis menjadi persamaan matrik.

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 & - R_2 \\ - R_2 & R_2 + R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ - V_2 \end{bmatrix}$$

3. Penyelesaian Persamaan Tegangan

Untuk menghitung arus loop pada persmaan di atas dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

- Metode Eliminasi
- Metode Determinan

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

1. Sumber tegangan DC .... 2 buah
2. Ampere meter DC .... 1 buah
3. Tahanan 100 □ , 5 W .... 1 buah
4. Tahanan 300 □ , 5 watt .... 1 buah
5. Tahanan 200 □ , 5 watt .... 1 buah
6. Multimeter .... 1 buah
7. Kabel penghubung .... secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Pastikan posisi sumber tegangan dc pada kondisi awal selalu pada 0!
2. Jangan menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar!
3. Perhatikan polaritas sumber dan alat-alat ukur. Jangan menyambung dengan polaritas yang terbalik!
4. Perhatikan batas ukur dari alat ukur yang digunakan! Hitunglah dulu arus yang mengalir berdasarkan teori. Setelah dihitung baru dipasang alat ukur yang sesuai!
5. Letakkan alat ukur pada tempat yang aman dan mudah diamati!
6. Hindari membuat sambungan kabel dalam keadaan terbuka!

Langkah Kerja

1. Buatlah rangkaian seperti Gambar 24 di bawah ini!

Gambar 42. Rangkaian Percobaan

2. Setelah rangkaian benar, atur tegangan V_1 dan V_2 sehingga menunjukkan nilai-nilai seperti Tabel 4. Catat besarnya arus pada setiap perubahan tegangan V_1 dan V_2!

Tabel 9. Pengamatan Arus Rangkaian

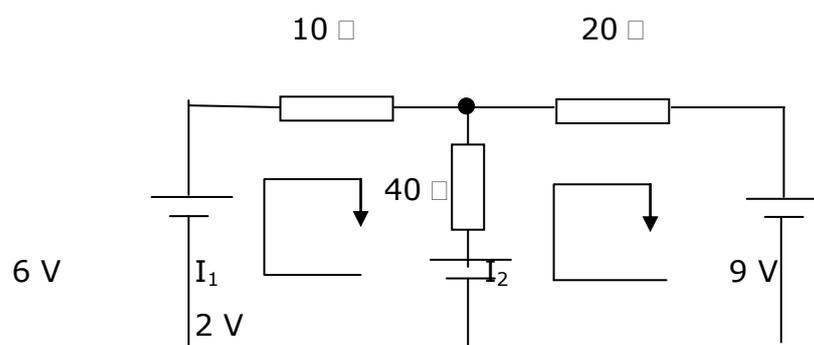
V_1 (volt)	V_2 (volt)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)
5,5	11			
11	16,5			
22	22			

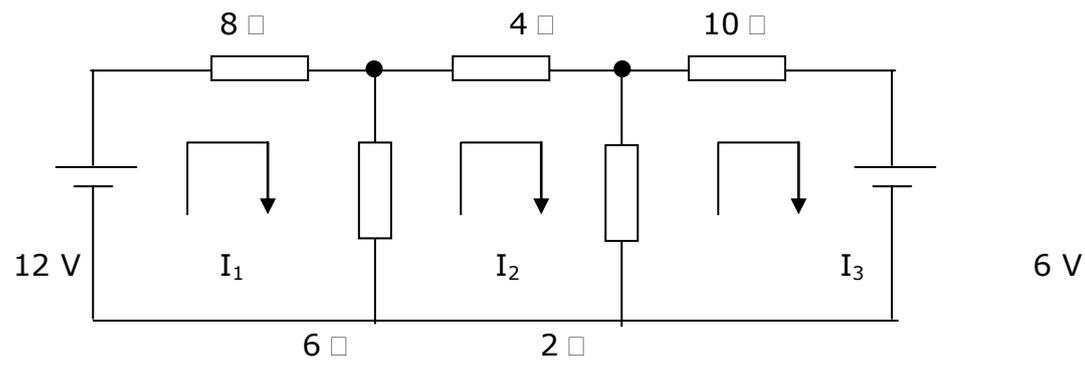
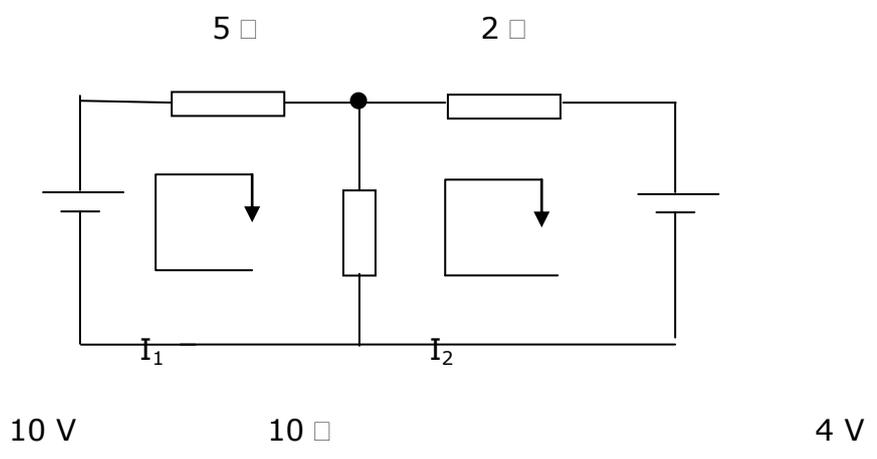
3. Hitunglah besarnya arus berdasarkan teori, kemudian bandingkan dengan hasil pengukuran dalam praktik!

4. Hentikanlah kegiatan dan kemudian kembalikan semua peralatan ke tempat semula!

5. Buatlah kesimpulan secara keseluruhan berdasarkan percobaan tadi!

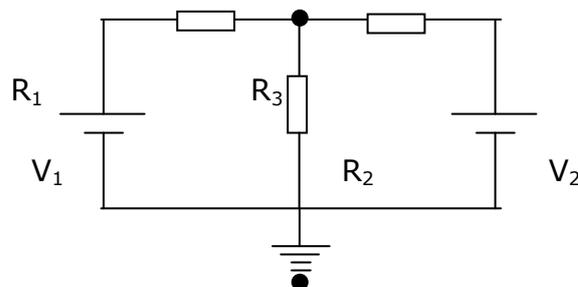
Lembar Latihan

1. Tuliskan persamaan tegangan dengan analisis loop dari rangkaian di bawah ini!

2. Hitunglah I_1 dan I_2 pada soal nomer 1!

3. Tuliskan persamaan tegangan dengan analisis loop dari rangkaian di bawah ini!

4. Hitunglah daya yang diserap pada setiap tahanan di bawah ini!

D. Analisis Simpul

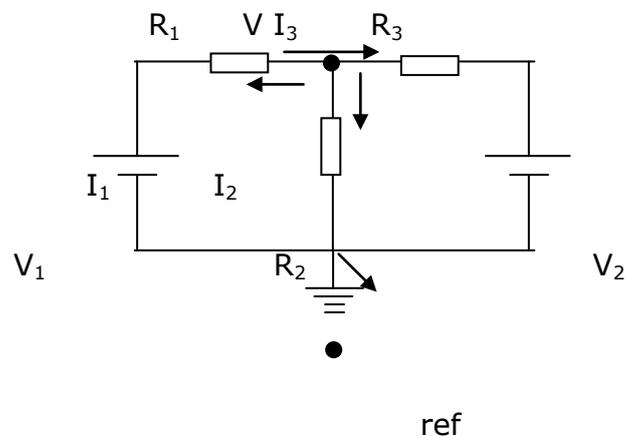
Teknik menganalisa rangkaian listrik dengan menggunakan analisis simpul merupakan pengembangan dari hukum Kirchoff I tentang arus. Jumlah aljabar arus di titik simpul atau titik cabang sama dengan nol atau arus yang masuk titik simpul sama dengan arus dari titik simpul. Langkah–langkah dalam analisis simpul adalah menentukan jumlah titik simpul dan simpul referensi, menentukan persamaan arus di titik simpul dan menyelesaikan persamaan arus yang menghasilkan tegangan di titik simpul. Dengan mengetahui tegangan pada setiap simpul maka arus di setiap cabang mudah dihitung.

1. Menentukan jumlah simpul dam simpul referensi.

Titik simpul merupakan tempat bertemunya arus dari beberapa cabang. Salah satu dari titik simpul dijadikan simpul referensi. Simpul referensi dianggap mempunyai tegangan sama dengan nol. Sebagai contoh perhatikan rangkaian pada Gambar 25 di bawah ini.

Gambar 43. Rangkaian Dengan 2 (dua) Simpul

Rangkaian di atas memiliki dua simpul, salah satu dijadikan referensi dan mempunyai tegangan nol yaitu simpul di bawah.

2. Persamaan arus di titik simpul

Untuk dapat menuliskan persamaan arus di titik simpul harus dapat menentukan titik simpul dengan benar dan menentukan salah satu sebagai simpul referensi. Di samping itu perlu ditetapkan perjanjian awal yaitu arus yang keluar dari simpul diberi tanda positif dan arus yang masuk diberi tanda negatif. Arah arus yang belum diketahui ditentukan sembarang. Untuk memahami perhatikan Gambar di bawah ini.

Gambar 44. Penentuan Arah Arus

Persamaan arus di simpul atas :

$I_1 + I_2 + I_3 = 0$

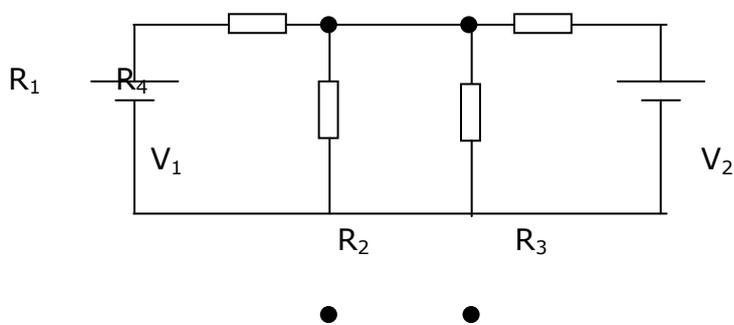
$$I_1 = \frac{V - V_1}{R_1}$$

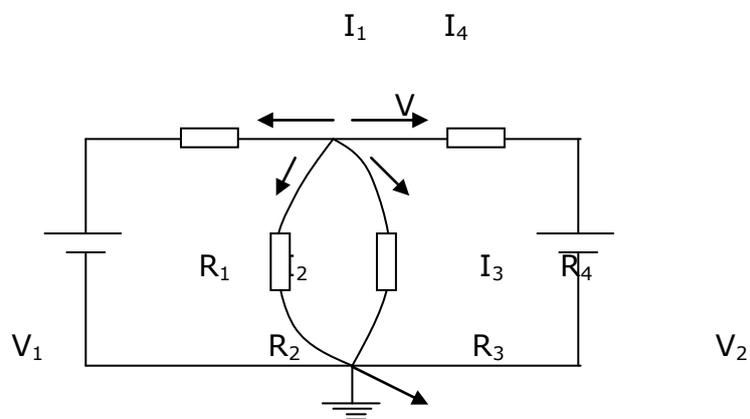
$$I_2 = \frac{V - 0}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V - V_2}{R_2}$$

Sehingga persamaan arus menjadi

$$\frac{V - V_1}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V - V_2}{R_3} = 0$$

Untuk lebih memahami menentukan titik simpul perhatikan Gambar di bawah ini.

Gambar 45. Pemahaman Penentuan Titik Simpul

Rangkaian di atas hanya memiliki dua simpul yang disederhanakan, perhatikan Gambar berikut ini.

ref

Gambar 46. Rangkaian Hasil Penyederhanaan

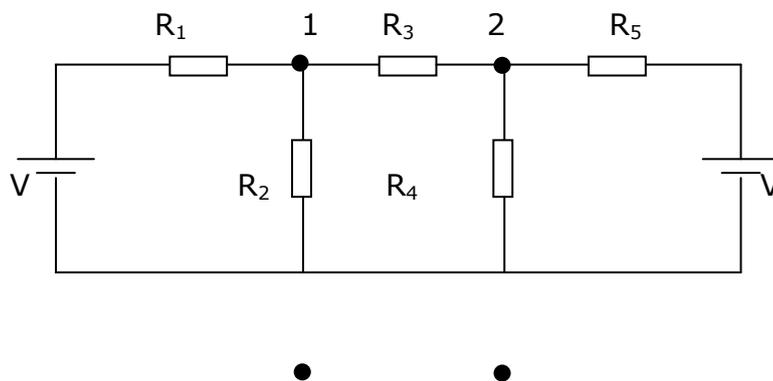
Persamaan arus di titik simpul tersebut adalah sebagai berikut :

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

$$I_1 = \frac{V - V_1}{R_1} \qquad I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} \qquad I_4 = \frac{V - V_2}{R_4}$$

$$\frac{V - V_1}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \frac{V - V_2}{R_4} = 0$$

Rangkaian pada Gambar di bawah ini mempunyai 3 buah simpul salah satu dijadikan referensi.

Gambar 47. Rangkaian Dengan 3 (tiga) Buah Simpul.

Misalkan sumber sama (= V)

Tegangan di simpul 1 = V_1

Tegangan di simpul 2 = V_2

$$\frac{V_1 - V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V_1 - V_2}{R_3} = 0$$

Persamaan arus di simpul 1adalah :

$$\frac{V_2 - V}{R_5} + \frac{V_2}{R_4} + \frac{V_2 - V_1}{R_3} = 0$$

Persamaan arus di simpul 2

3. Menyelesaikan Persamaan Arus

Untuk menyelesaikan persamaan arus pada analisis loop dapat dilakukan dengan :

1. Metode eliminasi
2. Metode determinasi

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

1. Sumber tegangan dc .... 2 buah
2. Ampere meter .... 3 buah
3. Multi meter .... 2 buah
4. Tahanan 100 □ , 5 watt .... 1 buah
5. Tahanan 50 □ , 5 wat .... 1 buah

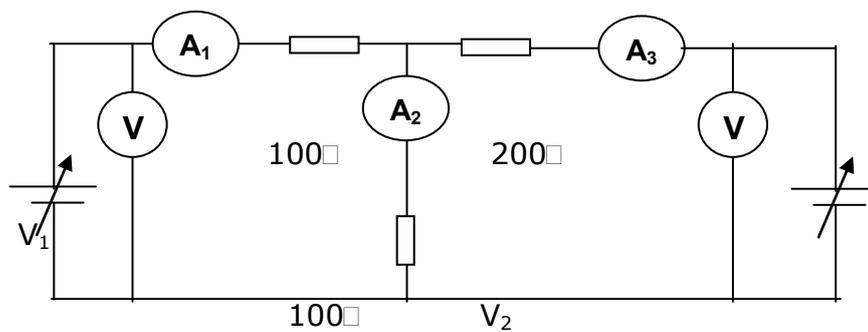
6. Tahanan 200 □ , 5 watt .... 1 buah

7. Kabel penghubung .... secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Jangan menghubungkan ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar!
2. Perhatikan polaritas dari sumber tegangan dan alat-alat ukur. Jangan memasang alat ukur dengan polaritas yang salah!
3. Perhatikan batas ukur dari alat-alat ukur dan kemampuan dari tahanan! Arus yang mengalir pada alat ukur tidak melewati batas ukur dan diluar kemampuan arus maksimal pada tahanan!
4. Letakkan peralatan pada tempat yang aman dan mudah diamati!
5. Posisi power supply dalam kondisi minimum!

Langkah Kerja

1. Buatlah rangkaian seperti Gambar 30 dibawah ini!

Gambar 48. Rangkaian Percobaan.

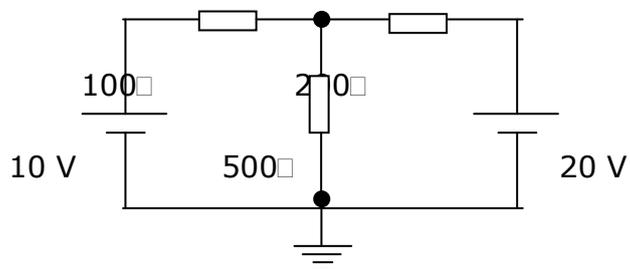
2. Atur tegangan V_1 dan V_2 seperti pada Tabel 5 ,catat I_1 , I_2 dan I_3 setiap perubahan tegangan sesuai tabel!

Tabel 10. Pengukuran Arus Pada Setiap Perubahan Tegangan

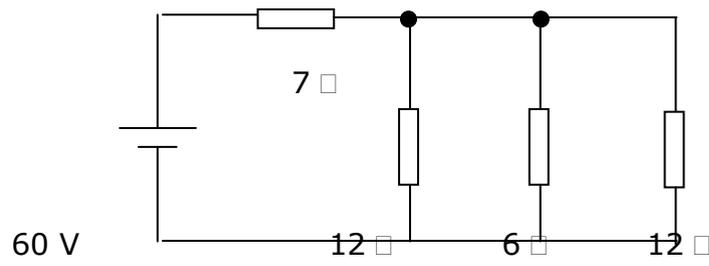
V_1 (Volt)	V_2 (Volt)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)
10	15			
12	20			
20	10			

3. Hitunglah arus I_1 , I_2 dan I_3 berdasarkan teori dan bandingkan hasilnya dengan hasil pengukuran!
4. Hentikanlah kegiatan dan kemudian kembalikan semua peralatan ke tempat semula!
5. Buat kesimpulan secara keseluruhan berdasarkan percobaan tadi!

Lembar Latihan

1. Tuliskan persamaan arus pada simpul 1!

2. Hitunglah arus tiap cabang pada soal no. 1!

3. Hitunglah arus setiap cabang dari rangkaian dibawah ini!

7 Ω
60 V
12 Ω
6 Ω
12 Ω

E. Rangkaian Transien

1. Kapasitansi

Sifat dari kapasitor yang dapat menyimpan energi listrik disebut kapasitansi. Medan listrik antara pelat besarnya sebanding dengan jumlah muatan dan juga beda potensial antara pelat kapasitor sebanding dengan jumlah muatan .

Kapasitansi (C) dari sebuah kapasitor didefinisikan sebagai perbandingan jumlah muatan (Q) dengan beda potensial (V) antara konduktor. Atau dengan kata lain kapasitansi adalah jumlah muatan dibagi dengan beda potensial. Yang dirumuskan sebagai berikut :

$$C = \frac{Q}{V}$$

Berdasarkan definisi satuan dari kapasitansi adalah coulomb/volt yang disebut farad.

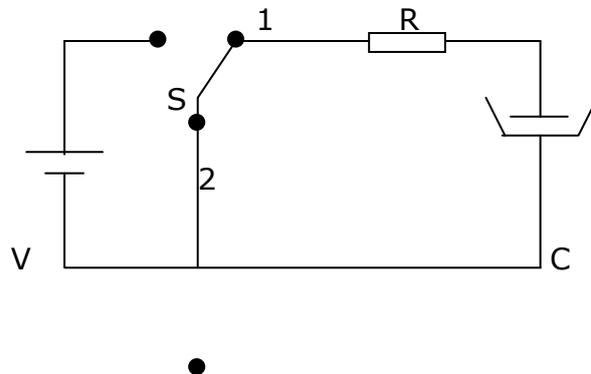
1 farad = 1 coulomb / volt

Satu farad didefinisikan kapasitansi sebuah kapasitor yang memerlukan muatan 1 coulomb agar beda potensial 1 volt pada kedua pelat. Satu farad merupakan satuan yang sangat besar, dalam praktek digunakan satuan yang lebih kecil mikrofarad dan pikofarad.

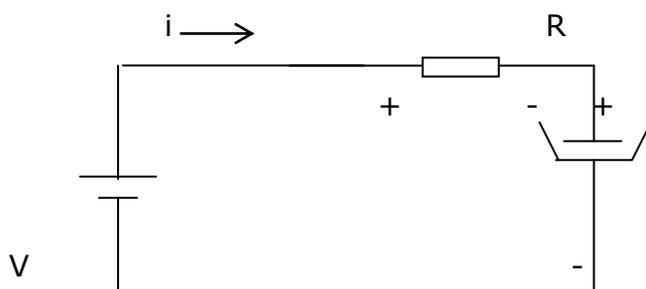
1 farad = 10^6 mikrofarad (□F) = 10^{12} pikofarad (□F)

Kapasitor merupakan komponen pasif yang dapat menyimpan energi listrik sesaat kemudian melepaskannya. Sifat kapasitor inilah yang menghasilkan suatu tegangan transien atau tegangan peralihan bila digunakan sumber arus searah.

2. Pengisian Kapasitor

Suatu rangkaian R - C dengan sumber tegangan searah seperti Gambar di bawah ini.

Gambar 49. Rangkaian R–C Dengan Sumber Tegangan DC

Saklar S dalam waktu yang lama berada pada posisi 2 sehingga tidak ada muatan sama sekali pada kapasitor atau dikatakan kapasitor kosong.

Jika pada waktu t = 0 saklar dipindah ke posisi 1 maka akan ada arus mengalir untuk mengisi kapasitor , sampai kapasitor penuh. Arus yang mengalir makin kecil sedangkan tegangan kapasitor makin besar. Proses ini disebut proses pengisian kapasitor. Untuk menentukan besar arus dan tegangan dapat dibuat rangkaian ekivalen seperti Gambar sebagai berikut :

Gambar 50.

Rangkaian ekivalen Untuk Menentukan Arus dan Tagangan

Sesuai dengan hukum Kirchoff II tentang tegangan maka jumlah tegangan dalam rangkaian tertutup sama dengan nol.

Atau

$- V + V_R + V_C = 0$

$V_R = i\ R$ $\qquad$ $i = dq / dt$

$V_C = q / C$

$- V + i\ R + q / C = 0$

Jika V tetap maka arus menjadi $i = V / R - q / RC$

Pada saat t = 0, q = 0, arus pada t = 0 disebut arus awal

$I_0 = V / R$.

Karena muatan q makin besar maka q / RC makin besar dan arus makin kecil, ketika arus i = 0 , maka

$$\frac{V}{R} = \frac{q}{RC}$$

$q = C\ V = Qf$; Qf = muatan akhir kapasitor

untuk menghitung i maka i diganti dengan dq / dt

$$\frac{dq}{dtR} = \frac{V}{R} - \frac{q}{RC}$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{VC - q}{RC}$$

$$\frac{dq}{VC - q} = \frac{dt}{RC}$$

Kedua ruas diintegralkan

$$\int \frac{dq}{VC - q} = \int \frac{dt}{RC}$$

$$-\ln(VC - Q) = \frac{t}{RC} + k \ ; k = \text{konstanta}$$

Pada saat t = 0 , q = 0 maka besar k

$$-\ln(VC-0)=0+k \;\; ; k = \text{konstanta}$$

k = -ln VC

$$-\ln(VC-q)=\frac{t}{RC}-\ln VC$$

$$\ln(VC-q)-\ln VC=-\frac{t}{RC}$$

$$1-\frac{q}{VC}=e^{-t/RC}$$

$$q=VC\left(1-e^{-t/RC}\right)=Q_f\left(1-e^{-t/RC}\right)$$

Dengan mengganti q = C V_c maka didapat

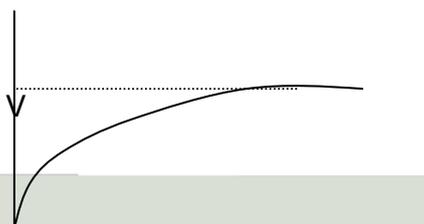
$$V_C=V\left(1-e^{-t/RC}\right)$$

Sedangkan arus i adalah

$$i=\frac{dq}{dt}$$

$$i = I_0 \; e^{-t/RC}$$

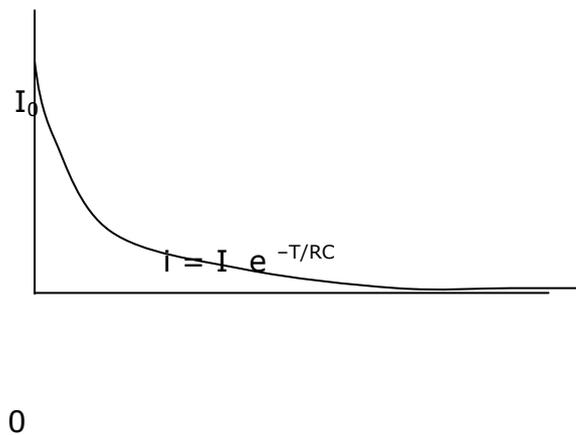
$$i=\frac{V}{R}\cdot e^{-t/RC}$$

Jika tegangan dan arus pengisian kapasitor dibuat grafik t diperoleh seperti dalam Gambar berikut ini.

$V_C = V (1 - e^{-t/RC}$

T

Gambar 51. Grafik V = f (T) dari Pengisian Kapasitor

Grafik tegangan fungsi waktu dari pengisian kapasitor ditunjukkan oleh Gambar di bawah ini.

0 t

Gambar 52. Grafik Arus Fungsi Waktu Pengisian Kapasitor

3. Konstanta Waktu

Tetapan RC pada proses pengisisn kapasitor disebut dengan konstanta waktu. Waktu untuk pengisian kapasitor sangat tergantung dari konstanta waktu ;

 = RC = konstanta waktu

Berdasarkan persamaan tegangan dan arus pengisian, agar tegangan kapasitor sama dengan tegangan sumber maka diperlukan waktu tak terhingga. Tetapi dalam praktek kapasitor dianggap penuh dalam waktu 5

Jika konstanta waktu = Rc dimasukkan pada persamaan tegangan dan persamaan arus pengisian diperoleh.

$$V_C = V\left(1 - e^{-t/\sigma}\right)$$

$$i = \frac{V}{R} \cdot e^{-t/\sigma}$$

Jika persamaan tegangan dan arus pengisian dihubungkan dengan konstanta waktu diperoleh sebagai berikut :

- Tegangan pengisian

$t = \tau$ $V_c = 0{,}632\ V$

$t = 2\tau$ $Vc = 0{,}865\ V$

$t = 3\tau$ $Vc = 0{,}95\ V$

$t = 4\tau$ $Vc = 0{,}982\ V$

$t = 5\tau$ $V_c = 0{,}993\ V$

- Arus pengisian

$t = \tau$ $i = 0{,}368\ Io$

$t = 2\tau$ $i = 0{,}135\ Io$

$t = 3\tau$ $i = 0{,}050\ Io$

$t = 4\tau$ $i = 0{,}018\ Io$

$t = 5\tau$ $i = 0{,}007\ I_o$

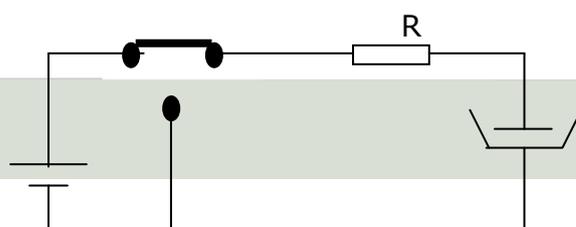
4. Pengosongan Kapasitor

Rangkaian RC pada Gambar 35 berada pada posisi 1 dalam waktu lama, sehingga kapasitor dianggap penuh. Dalam kondisi penuh ini tegangan kapasitor sama dengan tegangan sumber dan arus yang mengalir sama dengan nol.

1

2

V

C

Gambar 53. Rangkaian R-C (Pengisian)

Saat t = 0 saklar dipindahkan pada posisi 2 maka terjadi proses pengosongan kapasitor. Dengan cara yang sama seperti proses pengisian maka diperoleh persamaan tegangan dan arus pengosongan .

Tegangan pengosongan

$$V_C = V \cdot e^{-t/\sigma}$$

Tegangan pengosongan

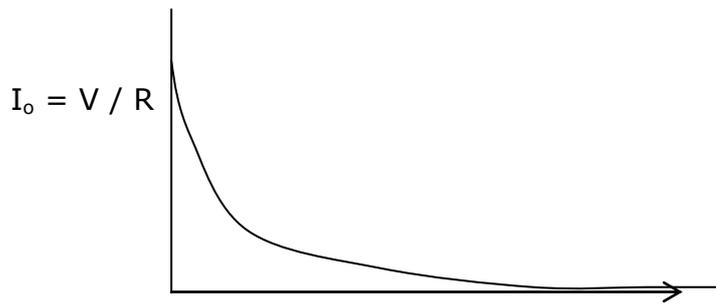
$$i = -I_0 \cdot e^{-t/\sigma}$$

Grafik tegangan dan arus pengosongan sebagai fungsi waktu ditunjukkan oleh Gambar 36.

V

$V = V \ e^{-t/\tau}$

0 t

Tegangan pengosongan

Arus pengosongan

Gambar 54.

Grafik V = f(T) dan I = f(T) Pengosongan Kapasitor

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

1. Sumber tegangan DC .... 1 buah
2. Saklar SPDT .... 1 buah
3. Tahanan 50 k ohm .... 1 buah
4. Tahanan 100 k ohm .... 1 buah
5. Stop watch... 1 buah
6. Kapasitor polar 1000 µF, 50 watt........... 1 buah
7. Volt meter dc .... 1 buah
8. Galvano meter.................................... 1 buah
9. Kabel penghubung .... secukupnya

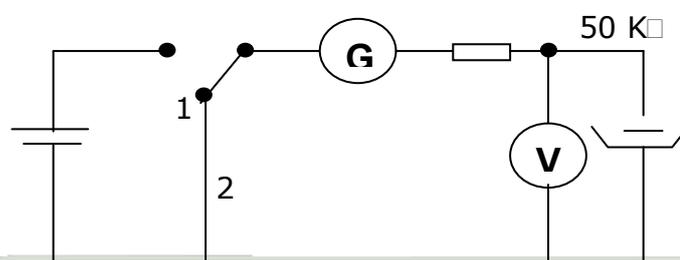
Keselamatan dan Kesehatan Kerja

1. Pastikan posisi sumber tegangan dc pada kondisi awal selalu pada 0!

2. Jangan menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar!
3. Perhatikan polaritas sumber dan alat-alat ukur. Jangan menyambung dengan polaritas yang terbalik!
4. Perhatikan batas ukur dari alat ukur yang digunakan! Hitunglah dulu arus yang mengalir berdasarkan teori. Setelah dihitung baru dipasang alat ukur yang sesuai!
5. Letakkan alat ukur pada tempat yang aman dan mudah diamati!
6. Hindari membuat sambungan kabel dalam keadaan terbuka!

Langkah Kerja

1. Buatlah rangkaian seperti Gambar di bawah ini!

20 V

1000 μF

Gambar 55. Rangkaian Pengisian dan Pengosongan Kapasitor

2. Aturlah tegangan sumber sehingga menunjukkan 20 volt!
3. Pindahkan saklar pada posisi 1 bersamaan dengan menghidupkan stop wacth!
4. Catatlah besar arus dan tegangan pada kapasitor sesuai waktu yang ditentukan pada Tabel 6!
5. Setelah kapasitor penuh pindahkan saklar pada posisi 2 catat arus dan tegangan kemudian masukkan data ke dalam Tabel 7.

Tabel 11. Pengisian Kapasitor

Waktu (detik)	Tegangan (volt)			Arus (ampere)		
	C=1000 F	Paralel	seri	C=1000 F	paral el	seri
0						
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
240						
270						
300						
360						

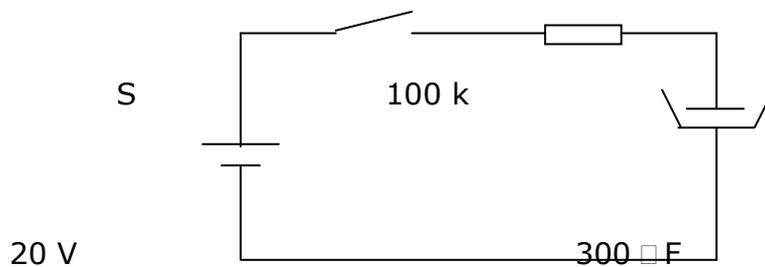
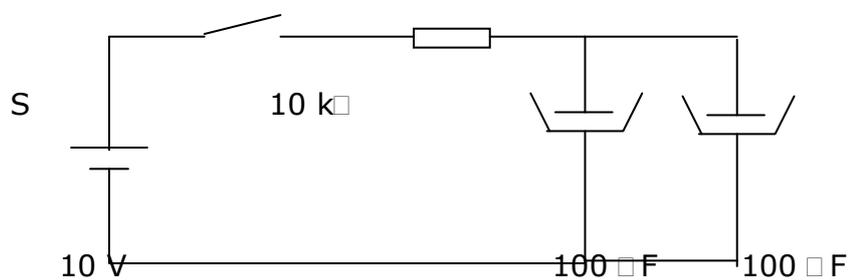
420						
480						
540						
600						
900						
1200						

6. Ulangilah langkah 3 sampai 5 untuk kapasitor diparalel, catat tegangan dan arus!
7. Ulangi langkah 3 sampai 5 untuk kapasitor diseri, catat besarnya tegangan dan arus!
8. Bandingkan hasil pengukuran dan hasil perhitungan dengan teori.
9. Buatlah grafik pengisian dan pengosongan setiap percobaan untuk tegangan dan arus!
10. Hentikanlah kegiatan dan kemudian kembalikan semua peralatan ke tempat semula!
11. Buat kesimpulan secara keseluruhan berdasarkan percobaan tadi!

Tabel 12. Pengosongan Kapasitor

Waktu (detik)	Tegangan			Arus		
	C=1000 □F	paralel	seri	C=1000 □F	paralel	

Lembar Latihan

1. Sebuah rangkaian RC seperti gambar di bawah diketahui kapasitor mula-mula kosong, saat t = 0 saklar ditutup. Hitunglah tegangan pada saat 0,5 menit, 1 menit, 1,5 menit, 2 menit, 2,5 menit.

2. Hitunglah arus yang mengalir pada soal no. 1.
   a. Setelah 0,5 menit
   b. Setelah 1 menit
   c. Setelah 1,5 menit
   d. Setelah 2 menit
   e. Setelah 2,5 menit
3. Sebuah rangkaian RC seperti gambar di bawah

Mula-mula kapasitor kosong, saat t = 0 saklar ditutup.

Hitunglah tegangan pada kapasitor saat :

a. 2 detik
b. 4 detik
c. 6 detik
d. 8 detik
e. 10 detik

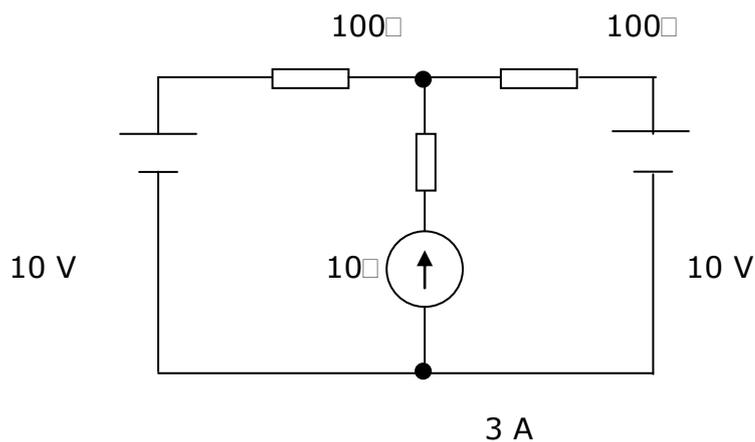
4. Hitunglah arus pada soal no. 3 pada saat :
   a. 2 detik
   b. 4 detik
   c. 6 detik
   d. 8 detik
   e. 10 detik

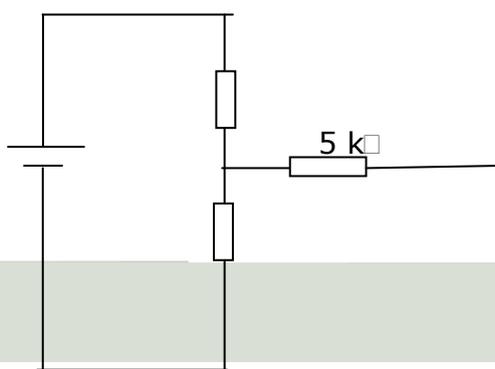
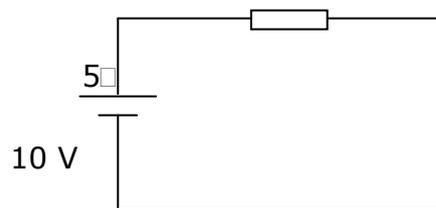
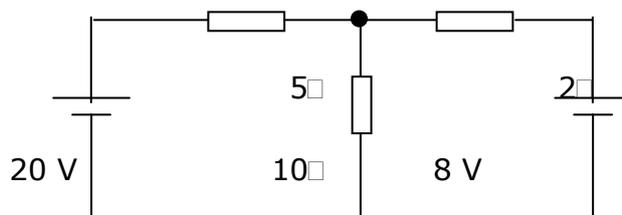
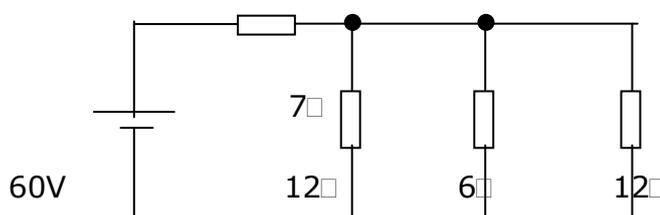
LEMBAR EVALUASI

A. Pertanyaan

1. Hitunglah arus dan daya yang disalurkan baterai serta daya yang diserap tahanan jika diketahui baterai 1,5 V mempunyai tahanan dalam 0,5 ohm dan disambung dengan sebuah tahanan 9,5 ohm !

2. Sebuah aki 12 v digunakan untuk motor starter sepeda motor, arus yang mengalir pada motor 15 amprer. Hitunglah daya motor dan energi yang diserap motor selama 5 detik !

3. Hitunglah arus dan daya dari tiap tahanan rangkaian dibawah ini, dengan teori superposisi!

4. Hitunglah panas yang dilepas seluruh tahanan dalam 5 menit pada soal no. 3 !

5. Hitunglah rangkaian pengganti Thevenin dari rangkaian di bawah ini !

6. Tentukan rangkaian pengganti Norton dari rangkaian di bawah ini!

7. Hitunglah arus pada setiap cabang dalam gambar di bawah ini!

8. Hitunglah arus dan daya pada setiap cabang tahanan dari gambar berikut ini!

9. Perhatikan gambar di bawah, jika saat t = 0 saklar ditutup. Hitunglah tegangan pada kapasitor saat :

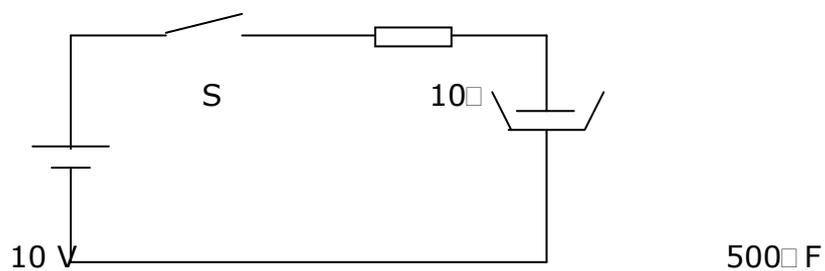
   a. 5 detik

   b. 10 detik

   c. 15 detik

   d. 20 detik

   e. 25 detik

500 F

10. Hitunglah arus yang mengalir pada soal no. 9 saat :

   a. 5 detik

   b. 10 detik

   c. 15 detik

   d. 20 detik

   e. 25 detik

B. Kriteria Kelulusan

Kriteria	Skor (1 – 10)	Bobot	Nilai	Keterangan
NomerSoal : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		Syarat lulus nilai minimal 70
Nilai akhir				

KUNCI JAWABAN LATIHAN

A. Penerapan Hukum Ohm dan Kirchoff

1. Arus dan tegangan yang mengalir disetiap tahanan adalah :

   20 mA , 1 V , 2 V

2. Arus yang mengalir : 1 A

   Tegangan pada tahanan adalah 5,5 V

3. Arus yang mengalir : 1 mA

   Tegangan pada tiap tahanan adalah 4 V dan 2V

4. I adalah 1,5 A ; I_1 adalah 0,5 A ; I_2 adalah 1 A

5. Tegangan dari soal no 4 adalah 8,25 V ; 6 V ; 6V

6. Arus pada setiap cabang adalah 2A ; 3A

7. Daya total dari soal no 6 adalah 60 watt

8. Daya yang diserap adalah 2,4 W

   Energi listrik yang diserap dalam 1 jam adalah 8600 joule

   Panas yang dilepas tahanan dalam 1 jam adalah 2064 kalori

B. Teori Superposisi , Thevenin Dan Norton

1. Arus yang mengalir pada tahanan 12 ohm dengan menggunakan teori superposisi adalah 2A

2. Arus yang mengalir pada tahanan 6 ohm adalah 0,75 A

3. Daya yang diserap tahanan 10 ohm dengan teori Thevenin adalah 1 1/9 watt

4. Arus yang mengalir pada tahanan 45 ohm adalah 0,2 A

5. Energi yang diserap tahanan 45 ohm dari soal no 4 selama 5 menit adalah 540 joule

C. ANALISIS LOOP

a. Persamaan tegangan dengan analisis loop :

$50\ I_1 - 40\ I_2 = -6$

$-40\ I_1 = 60$

b. Arus pada soal nomer 1 (satu) adalah :

$I_1 = -0{,}171$ A dan $I_2 = -0{,}064$ A

c. Persamaan tegangan dari rangkaian dengan analisis loop adalah sebagai berikut :

$14\ I_1 - 6\ I_2 = 12$

$-6\ I_1 + 12\ I_2 - 2I_3 = 0$

$-\ 2\ I_2 + 12\ I_3 = -6$

d. Daya yang diserap setiap tahanan adalah : 5W 0 , 5W , 1W

D. ANALISIS SIMPUL

1. Persamaan arus pada simpul 1 (satu) adalah 0,017 V_1 = 0,2
2. Arus tiap cabang dari soal no 1 adalah 17,6 mA ; 23,4 mA dan 41 mA
3. Arus tiap cabang adalah 6 A ; 1,5 A ; 3 A ; 1,5 a

F. Rangkaian Tranien

1. Tegangan pada saat :
   a. 0,5 menit = 12,64 V
   b. 1 menit = 17, 3 V
   c. 1,5 menit = 19 V
   d. 2 menit =19, 64 V
   e. 2,5 menit = 19, 86 V
2. Arus yang mengalir setelah
   a. 0,5 menit = 0,0726 mA
   b. 1 menit = 0,02706 mA
   c. 1,5 menit = 0,010 mA
   d. 2 menit = 0,0036 mA
   e. 2,5 menit = 0,0014 mA
3. Tegangan pada kapasitor saat
   a. 2 detik = 6,32 V
   b. 4 detik = 8,65 V
   c. 6 detik = 9,5 V
   d. 8 detik = 9,82 V

e. 10 detik = 9,93 V

4. Arus dari soal no 3 saat :

a. 2 detik = 0,368 mA

b. 4 detik = 0, 135 mA

c. 6 detik = 0,050 mA

d. 8 detik = 0,018 mA

e. 10 detik = 0,007 mA

Kunci Jawaban Lembar Evaluasi

1. Besarnya arus = 0,15 mA

   Daya yang disalurkan = 0,225 watt

   Daya yang diserap = 0,21375 watt

2. Daya motor = 180 watt

   Energi yang diserap motor selama 5 detik = 900 joule

3. Arus dari tiap tahanan =3 A ; 2A ; 1A

   Daya dari tiap tahanan = 90 Watt ; 200 Watt ; 400 watt

4. Panas yang dilepas seluruh tahanan dalam 5 menit (soal no 3) adalah 49680 kalori

5. Rangkaian pengganti Thevenin adalah V_{TH} = 8 V ; R_{TH} = 4,33 k

6. Rangkaian pengganti Norton adalah I_N = 2 A ; R_N = 5 ohm

7. Arus tiap cabang adalah 2 A ; 1 A ; 1 A

8. Arus setiap cabang = 6 A ; 1,5 A ; 3 A ; 1,5 A

   Daya setiap cabang = 42 W ;18 W ; 18 W ; 18 W

9. Tegangan pada kapasitor saat :

   a. 5 detik = 6,32 V

   b. 10 detik = 8,65 V

   c. 15 detik = 9,5 V

   d. 20 detik = 9,82 V

   e. 25 detik = 9,93 V

10. Arus yang mengalir (soal n0 9) pada saat :

    a. 5 detik = 0,368 mA

b. 10 detik = 0,135 mA

c. 15 detik = 0,050 mA

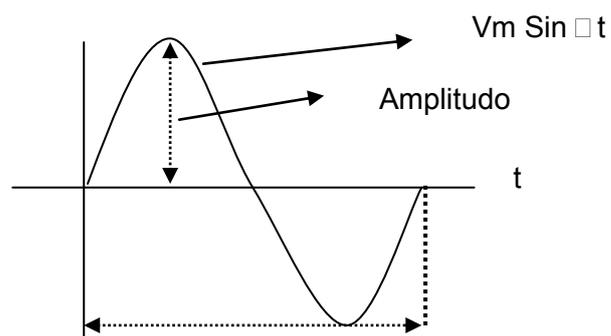
d. 20 detik = 0,018 mA

e. 25 detik = 0,007 mA

DASAR LISTRIK BOLAK-BALIK (AC)

LEMBAR INFORMASI

A. Tegangan dan Arus Listrik Bolak-Balik

Suatu bentuk gelombang tegangan listrik bolak-balik dapat digambarkan

seperti pada Gambar di bawah ini.

Gambar 56. Bentuk Gelombang Tegangan Listrik Bolak-Balik.

Pesamaan tegangan sesaat

$$v = V_m \sin 2\pi f t = V_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}\right.$$ T = 2□ $\quad \text{in}\, \omega t$

Dimana

v = Tegangan sesaat

V_m = Tegangan Maksimum

f = Frekuensi = 1/t (Hz)

T = Periode = waktu untuk satu gelombang

□ = kecepatan sudut = 2□□ = 2□/T = radian perdetik

Frekuensi dalam listrik AC merupakan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satu detik. Jika waktu yang diperlukan oleh satu gelombang disebut periode (T) maka.

$f = \frac{1}{T}$ atau $T = \frac{1}{f}$

jika generator mempunyai P kutub dan berputar sebanyak N kali dalam satu menit, maka frekuensi mempunyi persamaan

$$f = \frac{PN}{120}$$

P = Jumlah kutub generator

N = Jumlah putaran permenit (rpm)

1. Sudut Fase dan Beda Fase

Dalam rangkaian listrik arus bolak-balik sudut fase dan beda fase akan memberikan informasi tentang tegangan dan arus. Sedangkan beda fase antara tegangan dan arus pada listrik arus bolak-balik memberikan informasi tentang sifat beban dan penyerapan daya atau energi listrik. Dengan mengetahui beda fase antara tegangan dan arus dapat diketaui sifat beban apakah resistif, induktif atau kapasitif.

2. Tegangan Efektif dan Arus Efektif

Tegangan listrik arus bolak – balik yang diukur dengan multimeter menunjukan tegangan efektif. Nilai tegangan dan arus efektif pada arus bolak – balik menunjukan gejala yang sama seperti panas yang timbul jika dilewati arus searah :

$$\textit{Tegangan}\ \text{Efektif} = \frac{\text{Tegangan Maksimum}}{\sqrt{2}}$$

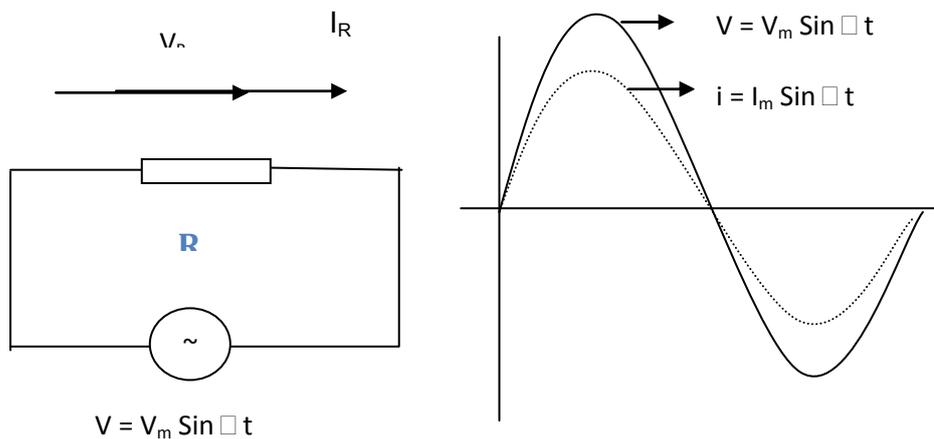
= 0.707 Tegangan Maksimum

$$= \frac{\text{I mak}}{\sqrt{2}}$$

= 0.707 Imax

3. Respon Elemen

a. Resistor dalam arus bolak – balik

Rangkaian yang terdiri dari sebuah sumber tegangan bolak – baliik dan sebuah resistor seperti Gambar 2 di bawah

Gambar 57. Rangkaian R, Bentuk Phasor, dan

Bentuk Gelombang Pada AC

Persamaan tegangan sumber

v = Vm Sin □ t

Persamaan tegangan pada Resistor R

$$v = i\,R$$

v = tegangan sesaat

i = arus sesaat

R = resistansi

Sehingga $i = \frac{Vm \text{ Sin } \omega t}{R}$

i = Im Sin ωt

Pada beban resistor murni tegangan dan arus mempunyai fasa sama (sefase).

Daya sesaat (p)

P = vi = Vm Sin ωt .I_m Sin ωt

= Vm Im Sin ²ωt

$$= \frac{Vm\ Im}{2}(1 - \text{Cos } 2\ \omega t)$$

$$= \frac{Vm\ Im}{2} - \frac{Vm\ Im \text{ Cos } 2\omega t}{2}$$

Untuk satu gelombang nilai rata – rata

$$\frac{Vm\ Im}{2}\text{Cos } 2\omega t = 0$$

sehingga daya

$$P = \frac{Vm\,Im}{2} = \frac{Vm}{\sqrt{2}} \times \frac{Im}{\sqrt{2}}$$

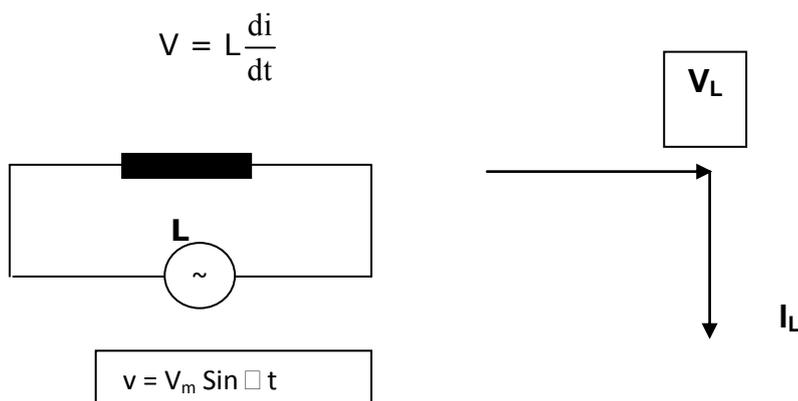
Atau

P = V I watt

V = Tegangan Efektif

I = Arus Efektif

b. Induktor murni dalam arus bolak – balik

Bila tegangan bolak – balik dipasang pada induktor murni seperti Gambar 3 di bawah, maka induktor menghasilkan ggl yang melawan sumber yang besarnya

$$V = L\frac{di}{dt}$$

Gambar 58. Rangkaian L dan Bentuk Pashor Pada AC.

Tegangan Sumber

$v = V_m \sin \omega t$

sehingga

$$V_m \text{ Sin } \square t = L\frac{di}{dt}$$

$$di = \frac{Vm}{L}\text{Sin}\,\omega t\,dt$$

$$i = \frac{Vm}{L}\int \text{Sin}\,\omega t$$

$$i = \frac{Vm}{\omega L}(-\text{Cos}\omega t)$$

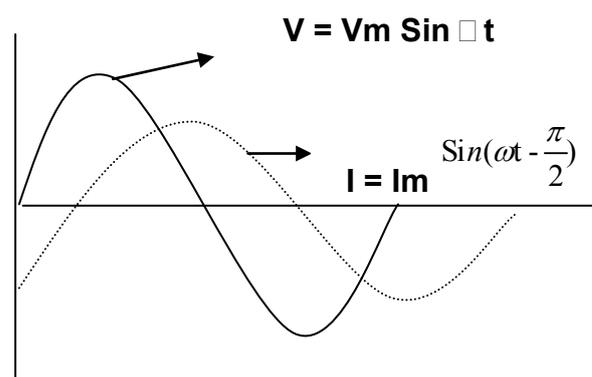
$$i = \frac{Vm}{\omega L}\text{Sin}\,(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Arus sesaat (i) maksimum $I_m = \frac{Vm}{\omega L}$ jika $\text{Sin}\,(\omega t - \frac{\pi}{2})$ mempunyai nilai 1maka persamaan arus pada Induktor menjadi

$$I = I_m \text{Sin}\,(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Arus ketinggalan dengan sudut $\frac{\pi}{2}$ atau 90^o .

Daya Sesaat

Bentuk gelombang tegangan dan arus pada induktor dapat dilihat dalam Gambar 4 berikut ini.

Gambar 59. Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Pada Induktor

P = vi

$= \text{Vm Im Sin } \omega t \ \text{Sin}(\omega t - \frac{\pi}{2})$

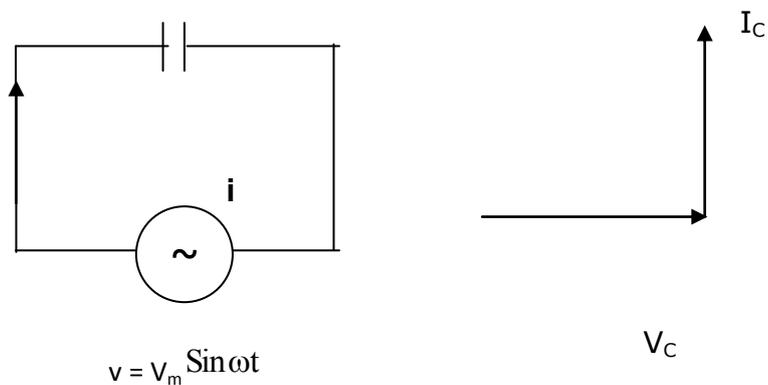
p = daya sesaat

Daya Untuk seluruh siklus

$$P = -\frac{\text{Vm Im}}{2}\int_0^{2\pi} \text{Sin } 2\omega t \, dt = 0$$

Dari persamaan di atas dapat dijelaskan bahwa induktor murni tidak menyerap daya listrik hanya menyimpan energi listrik sesaat dalam jumlah terbatas.

c. Kapasitor dalam arus bolak – balik

Rangkaian yang terdiri dari sebuah sumber tegangan bolak – baliik dan sebuah kapasitor seperti Gambar 5 di bawah.

Gambar 60. Rangkaian C dan Bentuk Phasor Pada AC

Tegangan sumber mempunyai persamaan

$$v = V_m \operatorname{Sin} \omega t$$

Muatan pada kapasitor

$$q = Cv$$

q = Muatan pada plat kapasitor

C = Kapasitansi kapasitor

V = Beda potensial/tegangan

Persamaan Arus

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{dCv}{dt}$$

$$= \frac{dCvVm \sin \omega t}{dt}$$

$$= \omega C \, Vm \, \operatorname{Cos} \omega t$$

$$= \frac{Vm}{1/\omega C} \operatorname{Sin} (\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$i = Im \operatorname{Sin} (\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa arus mendahului tegangan dengan sudut $\frac{\pi}{2}$ atau 90^0

Daya

Daya sesaat pada kapasitor (p)

$$P = vi$$

$$= V_m \operatorname{Sin} \omega t \; Im \operatorname{Sin} (\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$= V_m \; I_m \operatorname{Sin} \omega t \frac{V_{fase}}{Z_{fase}} = \frac{400}{158{,}2}$$

$$= \frac{1}{2} \; V_m \; I_m \operatorname{Sin} \omega t$$

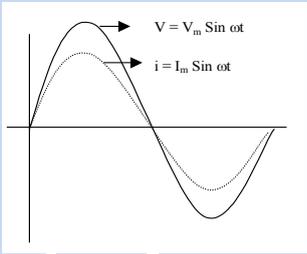
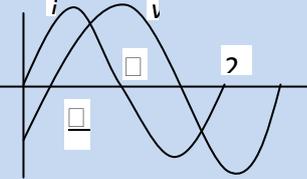
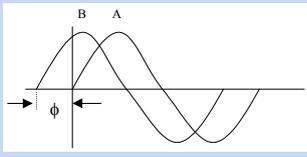
daya untuk seluruh siklus

$$P = \frac{1}{2} V_m \ I_m \int_0^{2\pi} \text{Sin}\, 2\omega t\, dt = 0$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa kapasitor tidak menyerap daya listrik

Karakteristik tegangan dan arus dari ketiga elemen pasif tersebut dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut .

Tabel 13. Karakteristik tegangan dan arus R, L, dan C

Elemen	Sudut fasa arus Dan tegangan	Diagram	**Impedansi**
R	Fasa sama	$V = V_m \text{ Sin } \omega t$ $i = I_m \text{ Sin } \omega t$	R
L	Arus ketinggalan 90^0 atau ½ □	i v □ 2 □	X_L= □ L = 2□
C	Arus mendahului tegangan90^0 atau ½ □	B A ϕ	$XC = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi}$

Lembar Kerja

Alat dan bahan :

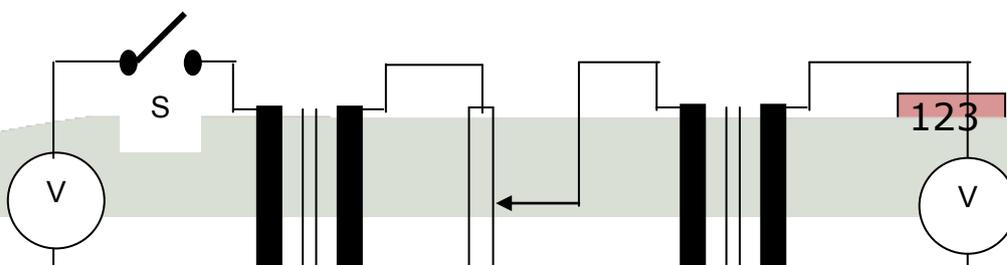
1. Trafo isolasi .... 1 buah
2. Trafo step down 220 / 9 –18 V .... 1 buah
3. Multimeter / Voltmeter .... 2 buah
4. Variac.. 1 buah
5. Kabel Penghubung .... secukupnya
6. Saklar .... 1 buah

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Jangan menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan sebelum benar.
2. Jangan membuat sambungan terbuka terutama pada tegangan tinggi
3. Perhatikan batas ukur dan saklar pemilih pada multimeter.
4. Kalibrasikan CRO sebelum digunakan dengan teliti dan hati – hati.
5. Letakkan peralatan pada tempat yang aman dan mudah diamati
6. Jangan menggunakan alat ukur di luar batas kemampuan
7. Pastikan posisi variac dalam kondisi minimum.

Percobaan I. Tegangan Efektif

Langkah Kerja

1. Siapkan alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini.
2. Buatlah rangkaian seperti Gambar 6 di bawah ini

Gambar 61. Rangkaian Percobaan

3. Setelah rangkaian benar hubungkan ke sumber tegangan dan tutup saklar .
4. Atur tegangan Variac sehingga multimeter menunjukan seperti Tabel 2 di bawah. Amati penunjukan CRO setiap perubahan tegangan.
5. Bandingkan hasil pengukuran voltmeter dan CRO dengan teori.
6. Lanjutkan dengan percobaan kedua.

Tabel 14. Pengamatan CRO

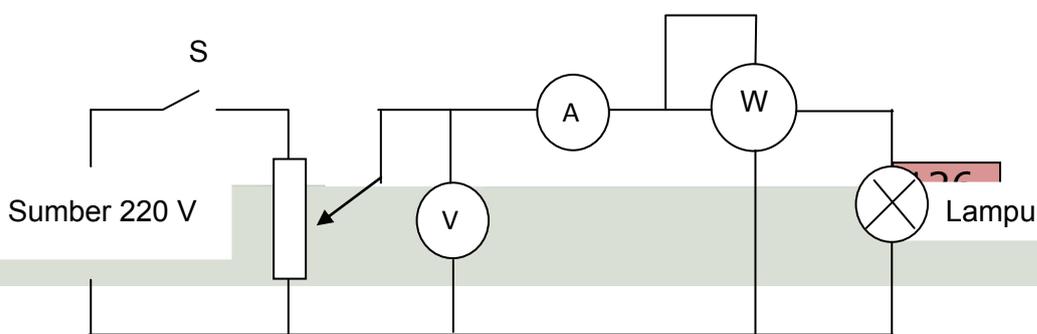
Voltmeter	CRO (p-p)
2 V	
4 V	
6 V	
8 V	
10 V	

Percobaan II. Respon Elemen RLC

Alat dan bahan :

1. **Lampu Pijar .... 1 buah**
2. Ballas lampu TL .... 1 buah
3. Kapasitor non polar 250 V .... 1 buah
4. Saklar .... 1 buah
5. Variac... 1 buah
6. Voltmeter... 1 buah
7. Amperemeter .... 1 buah
8. Wattmeter .... 1 buah
9. Kabel Penghubung .... secukupnya.

Langkah Kerja

1. Siapkan alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini.
2. Buatlah rangkaian seperti Gambar 7 di bawah ini.
3. Setelah rangkaian benar hubungkan dengan sumber tegangan kemudian tutup saklar.
4. Atur variac sehingga diperoleh tegangan seperti nilai dalam Tabel 3.
5. Catatlah penunjukan wattmeter dan amperemeter setiap perubahan tegangan.

Gambar 62. Rangkaian Percobaan.

6. Gantilah lampu pijar dengan ballas, atur tegangan seperti langkah 3.
7. Catatlah penunjukan amperemeter dan wattmeter ke dalam Tabel 3.
8. Gantilah ballas dengan kapasitor atur tegangan seperti langkah 3
9. Hentikanlah kegiatan dan kembalikan semua peralatan ke tempat semula. Kemudian buat kesimpulan secara keseluruhan berdasarkan percobaan tadi.
10. Bandingkan daya, arus dan tegangan pada masing–masing percobaan.
11. Hitung faktor daya dari lampu, ballas dan kapasitor.

Tabel 15. Pengamatan Arus dan Daya

Tegangan	**Lampu**		Ballas		Kapasitor	
	I	P	I	P	I	V
50 V						
100 V						

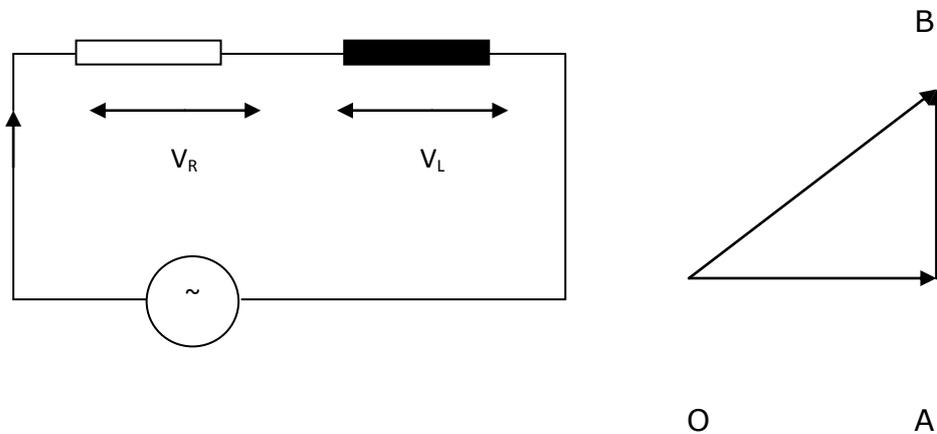
150 V						
200 V						

Lembar Latihan

1. Hitunglah banyak putaran generator setiap detik bila diketahui sebuah pembangkit listrik tenaga air (PLTA) mempunyai generator dengan 20 kutub, untuk menghasilkan frekuensi 50 Hz !
2. Hitunglah penunjukan voltmeter dari suatu tegangan bolak – balik gelombang sinus yang menunjukan 200 volt puncak - puncak jika dilihat CRO !
3. Hitunglah arus yang mengalir pada lampu dan tahanan lampu bila lampu pijar 220 – 230 volt, 100 watt dipasang pada tegangan 225 volt. !
4. Sebuah kompor listrik 225 volt, 900 watt mempunyai elemen pemanas 5 m. hitunglah arus dan tahanan elemen. Jika elemen pemanas putus, kemudian disambung sehingga panjangnya menjadi 4,8 m. hitunglah besar tahanan, arus dan daya kompor yang dipasang pada tegangan 225 volt !
5. Hitunglah arus dan daya yang diserap oleh kapasitor, jika dua buah kapasitor 60 μF dan 40 μF diseri dan dipasang pada tegangan 220 V, 50 HZ !

B. Rangkaian Seri Arus Bolak – Balik Beban Resistor Dan Induktor

Lembar Informasi

Sebuah resistor R ohm dan Induktor L henry diseri dan dihubungkan dengan sebuah sumber tegangan arus bolak – balik seperti Gambar di bawah ini.

Gambar 66. Rangkaian Dengan Beban R dan L

Drop tegangan seperti terlihat pada OAB . Drop tegangan pada R = V_R digambarkan oleh vektor OA, dan drop tegangan pada L = V_L digambarkan oleh vektor AB. Tegangan Sumber V merupakan jumlah secara vektor dari V_R dan V_L

$$V = \sqrt{V_R{}^2 + V_L{}^2}$$

$$V = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I\sqrt{R^2 + X_L{}^2}$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L{}^2}}$$

Besaran $\sqrt{R^2 + X_L{}^2}$ disebut impedansi (Z) dari rangkaian, yaitu :

$Z^2 = R^2 + X_L{}^2$

Dari gambar di atas terlihat bahwa arus ketinggalan terhadap teganagn dengan sudut adalah :

$$\text{tg}\square \;=\; \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R} = \frac{\text{reak tan si}}{\text{resis tan si}}$$

1. Daya (P)

Daya rata-rata yang diserap rangkaian RL merupakan hasil kali V dengan komponen I yang searah V

P = V I Cos □

Cos □ disebut faktor daya rangkaian

Daya = Volt Ampere (VA) x Faktor Daya

Watt = VA x Cos □

Jika daya dala kilowatt maka

KW = K VA x Cos □

P = VI Cos □ = VI x (R/Z)

= V/2 x I x P

= I^2 R

P = I^2 R watt

2. FAKTOR DAYA (Pf = Power Faktor)

Faktor daya dapat dirumuskan

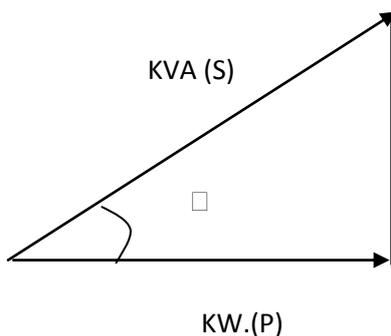
1. Kosinus beda fase antara arus dan tegangan.

2. $\frac{\text{resistansi}}{\text{impedansi}} = \frac{R}{Z}$

3. $\frac{\text{watt}}{\text{Volt.Ampere}} = \frac{W}{VA} = \frac{kW}{kVA}$

Sehingga

$$Pf = Cos\,\square = \frac{R}{Z} = \frac{W}{VA} = \frac{kW}{kVA}$$

Jika digambarkan dengan segitiga daya seperti ditunjukkan oleh Gambar 9 berikut ini.

Daya dapat dibedakan menjadi :

- Daya aktif = P = kW
- Daya reaktif = Q =k VAR
- Daya semu = S = kVA

Gambar 67. Segitiga Daya

Hubungan Ketiga jenis daya adalah sebagai berikut :

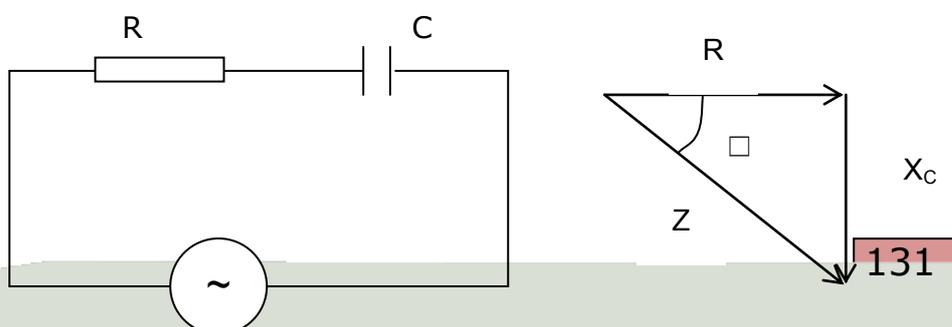
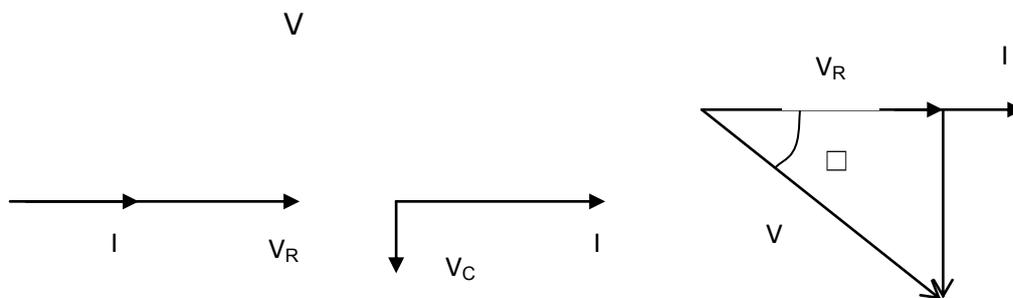
$S^2 = P^2 + Q^2$

$kVA^2 = kW^2 + k\ VAR^2$

kW = kVA Cos □

kVAR =k VA Sin □

3. Beban Resistor dan Kapasitor

Sebuah resistor R dan kapasitor C diseri dan diberi tegangan bolak-balik, seperti ditunjukkan oleh Gambar 10.

Gambar 68. Rangkaian RC Seri dan Diagram Phasornya.

V_R = I R = drop tegangan pada R (fasa sama dengan nol).

VC = I XC = drop tegangan pada C (ketinggalan terhadap I dengan sudut □/2)

X_C = reaktansi kapasitif (diberi tanda negatif) karena arah V_C pada sudut negatif Y

$$V = \sqrt{{V_R}^2 + {V_C}^2}$$

$$V = \sqrt{(IR)^2 + (-IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + {X_C}^2}$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + {X_C}^2}}$$

$Z^2 = R^2 + X_C^2$ disebut impedensi rangkaian.

Dari gambar di atas terlihat bahwa I mendahului V dengan sudut □ di mana

tg □ = $\dfrac{-X_C}{R}$

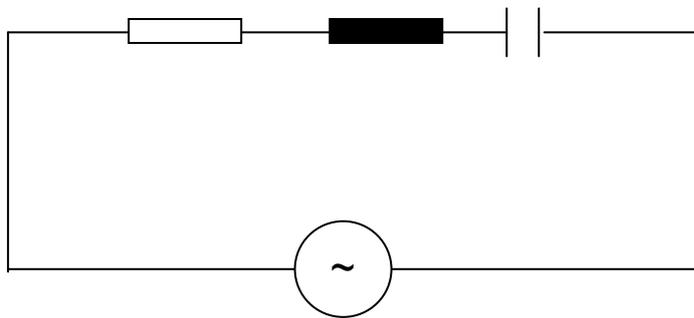
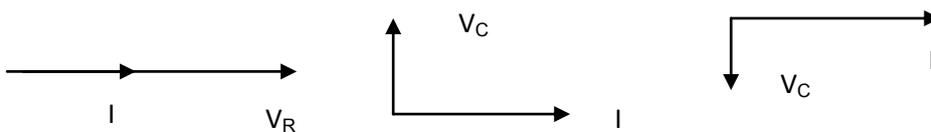
Jika tegangan sumber dinyatakan dengan

V = Vm $\sin\omega t$

Maka arus dalam rangkaian R – C seri dapat dinyatakan dengan

I = Im sin (□t + □)

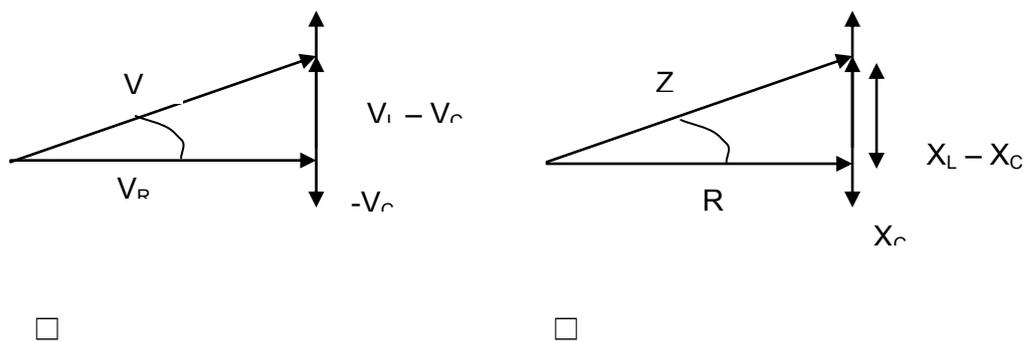
4. Beban R – L – C Seri

Sebuah rangkaian seri R-L-C diberi tegangan V seperti Gambar di bawah ini.

Gambar 69. Gambar R-L-C Seri

VR = I R = drop tegangan pada R sefasa dengan I

VL = I XL = drop tegangan pada L mendahului I dengan sudut 90 □

VC = I XC = drop tegangan pada C ketinggalan terhadap dengan sudut 90 □

V = tegangan sumber yang merupakan jumlah secara vektor dari VR, VL dan VC, seperti terlihat dalam Gambar berikut ini.

□ □

Gambar 70. Diagram Phasor

$$V = \sqrt{V_R + (V_L - V_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$= \sqrt{R^2 + X^2}$$

Beda fasa antara tegangan dan arus :

$$Tg\ □ = \frac{(X_L - X_C)}{R} = \frac{X}{R}$$

Sedangkan faktor daya :

$$\text{Cos } \square = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Jika sumber tegangan diberikan

$$V = Vm\ \text{Sin}\,\omega t$$

Sehingga arus mempunyai persamaan :

I = Im sin (□t □□)

Tanda negatif bila arus ketinggalan terhadap tegangan, $X_L > X_C$ atau beban bersifat induktif.

Tanda positif bila arus mendahului tegangan, $X_L < X_C$ atau beban bersifat kapasitif.

5. Resonansi RLC Seri.

Resonansi pada rangkaian RLC seri terjadi jika reaktansi sama dengan nol. Hal ini terjadi bila $X_L = X_C$. Frekuensi saat resonansi disebut fo, maka :

XL= XC

$$\mathbf{2\square foL} = \frac{1}{2\pi foC}$$

$$fo = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

6. Faktor Kualitas □

Faktor kualitas dalam rangkaian seri RLC adalah tegangan magnetisasi saat rangkaian berresonansi.

Pada saat resonansi arus maksimum :

$$I_m = \frac{V}{R}$$

Tegangan pada induktor atau kapasitor = $I_m X_L$

Tegangan sumber adalah $V = I_m R$

Jadi tegangan magnetisasi adalah sebagai berikut :

$$\frac{I_m X_L}{I_m R} = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi foL}{R}$$

Faktor kualitas

$$\square = \frac{2\pi foL}{R} \qquad \text{di mana} \quad fo = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Sehingga

$$\square = \frac{1}{R}\sqrt{(\frac{L}{C})}$$

Faktor kualitas juga dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\square = 2\square \frac{\text{energi maksimal yang disimpan}}{\text{energi yang diserap dalam 1 perioda}}$$

Sedangkan lebar band :

$$\square = \frac{\omega_0}{\vartheta_0}$$

Lembar Kerja

Alat dan bahan :

1. Trafo isolasi 220 V / 220 V .... 1 buah
2. Fuction Generator / AFG .... 1 buah
3. Amperemeter AC .... 1 buah
4. Voltmeter AC... 1 buah
5. Rheostat 500 Ω / 1 A................................... 1 buah
6. Ballast lampu TL 20 watt / 220 V .... 1 buah
7. Decade Capasitor... 1 buah
8. Decade iIduktor .... 1 buah
9. Saklar .... 1 buah
10. Kabel penghubung .... secukupnya.

Kesehatan dan Keselamatan Kerja :

1. Jangan menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar.
2. Perhatikan batas ukur dari alat yang digunakan, jangan melebihi batas kemampuan.

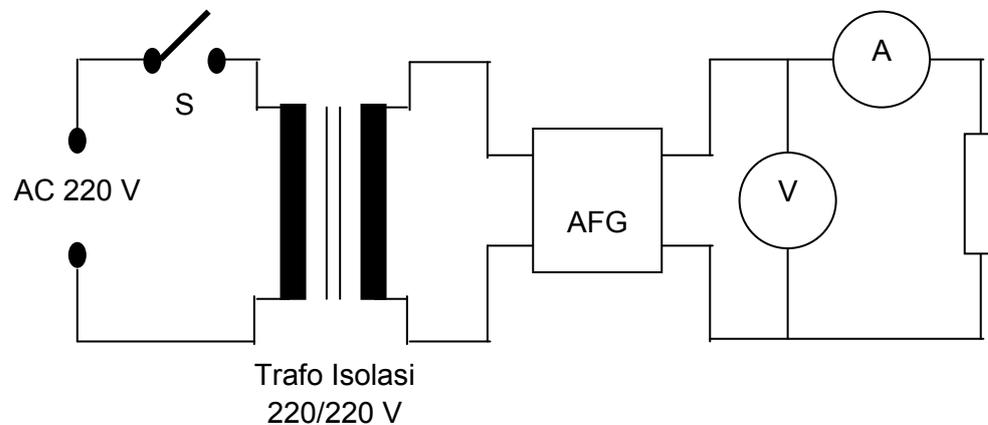
3. Perhatikan kapasitas dari resistor, ballast, dan kapasitor.

4. Jangan membuat sambungan kabel yang terbuka.

Percobaan I

Langkah kerja

1. Siapkan alat yang digunakan dalam percobaan ini.

2. Buatlah rangkaian seperti Gambar 13 di bawah ini.

Gambar 73. Rangkaian Percobaan

3. Setelah rangkaian benar hubungkan ke sumber tegangan dan tutuplah saklar S.

4. Atur frekuensi *function generator* hingga 50 Hz, atur keluaran sehingga 10 V p – p dan usahakan agar tegangan ini tetap selama percobaan.

5. Aturlah frekuensi seperti nilai dalam Tabel 4.

6. Catatlah besarnya arus setiap perubahan frekuensi.

7. Gantilah resistor dengan ballast kemudian ulangi langkah 3, 4 dan 5.

8. Gantilah ballast dengan kapasitor kemudian ulangi langkah 3, 4 dan 5.

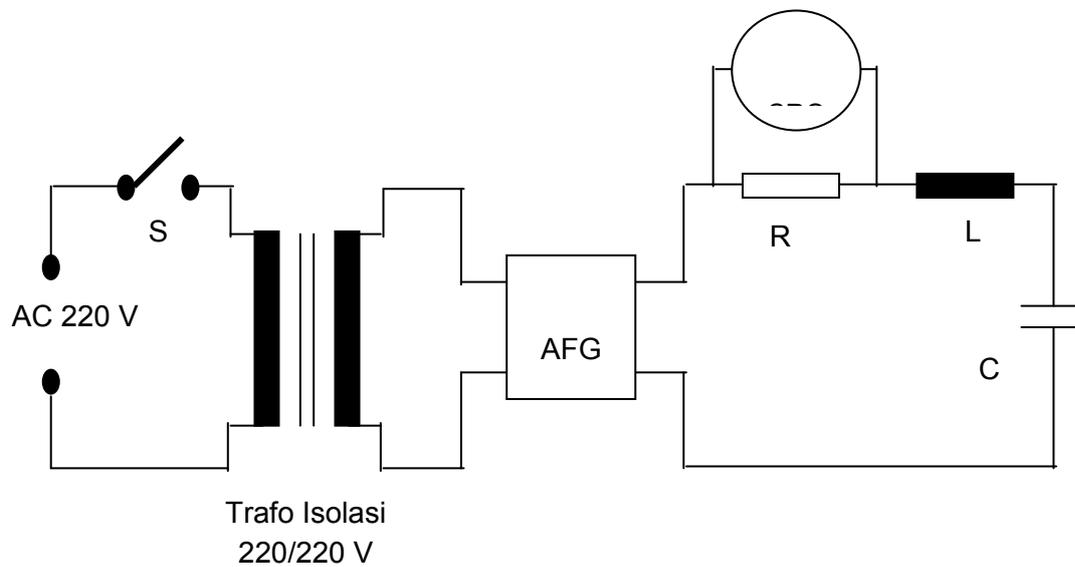
9. Setelah percobaan I selesai lanjutkan percobaan berikutnya.

Tabel 16. Pengamatan Perubahan Arus Oleh Perubahan Frekuensi

Frekuensi (Hz)	Arus (ampere)		
	Resistor	Ballast	Kapasitor
50			
100			
200			
400			
500			
1000			

Percobaan II

Langkah kerja

1. Siapkan alat yang digunakan dalam percobaan ini.
2. Buatlah rangkaian seperti Gambar di bawah ini.

Gambar 74. Rangkaian Percobaan

3. Setelah rangkaian benar, hubungkan dengan sumber tegangan dan tutup saklar S.

4. Aturlah keluaran CRO pada saat tanpa beban pada frekuensi 50 Hz, hubungkan beban ke *function generator,* kemudian atur frekuensi *function generator* dan amati tegangan pada CRO. Carilah frekuensi pada *function generator* sehingga tegangan pada CRO menunjukkan harga tertinggi.

5. Bandingkan hasil pengukuran dengan analisa teori.

6. Setelah selesai semua. Hentikan kegiatan dan kembalikan peralatan yang digunakan ke tempat semula, kemudian buat kesimpulan dari keseluruhan percobaan tersebut.

Lembar Latihan

1. Sebuah kumparan mempunyai resistansi 80 Ω dan induktor 0,192 H dipasang pada tegagan 225 V, 50 H. Hitunglah :

    a. Arus yang mengalir

    b. Faktor daya

    c. Daya aktif, reaktif dan daya semu.

2. Sebuah rangkaian seri jika dihubungkan dengan tegangan 100 V DC menyerap daya 500 W jika dihubungkan dengan 100 V AC, 50 Hz menyerap daya 200 watt. Hitung besar resistensi dan induktansi.

3. Sebuah kapasitor 10 μF diseri dengan resistor 120 Ω dan dipasang pada tegangan 100 V, 50 Hz.

   Hitunglah :

   a. Arus

   b. Beda fasa antara arus dan tegangan.

   c. Daya yang diserap

4. Hitunglah besar R dan C dari suatu rangkaian seri R – c yang dihubungkan dengan tegangan 125 V, 60 Hz. Arus yang mengalir 2,2 A dan daya yang diserap 96,8 watt !

5. Hitunglah besar C agar lampu pijar 750 watt,100 V mendapat tegangan yang sesuai, bila lampu tersebut digunakan pada tegangan 230 V, 60 Hz diseri dengan kapasitor. !

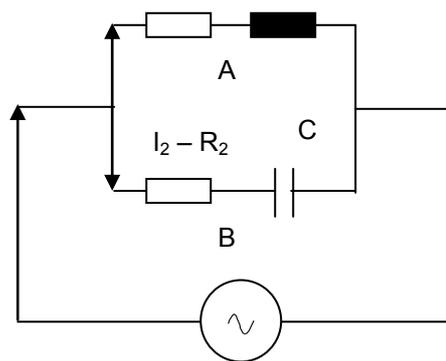
6. Hitunglah kapasitansi kapasitor, induktansi, dan resistansi, jika diketahui sebuah resistor, kapasitor dan induktor variabel diseri dan dihubungkan dengan sumber tegangan 200 V, 50 Hz. Arus maksimum 314 mA dan tegangan pada kapasitor 300 V !

C. Rangkaian Paralel Arus Listrik Bolak-Balik

Lembar Informasi

Dalam rangkaian arus bolak-balik apabila beban diparalel maka untuk menganalisis rangkaian tersebut dapat diselesaikan dengan beberapa cara, antara lain :

1. Metode Vektor

Misalkan rangkaian paralel terdiri dari dua cabang seperti Gambar di bawah ini

Gambar 75. Rangkaian AC dengan Beban Diparalel.

Dari Cabang A diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$I_1 = \frac{V}{Z_1} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

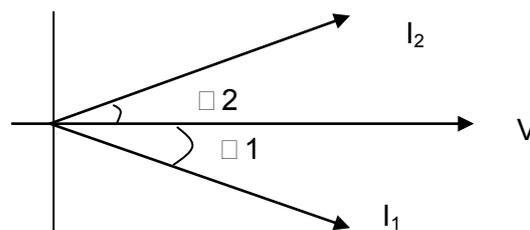
$$\text{Cos } \varphi 1 = \frac{R_1}{Z_1} \text{ atau } \varphi 1 = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{R_1}{Z_1}\right)$$

Dari cabang B diperoleh persamaan :

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$I_2 = \frac{V}{Z_2} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Cos □1 = $\frac{R_2}{Z_2}$ atau □1 = Cos $^{-1}$($\frac{R_2}{Z_2}$)

Pada cabang A arus ketinggalan terhadap tegangan dengan sudut □1. Sedang pada cabang B arus mendahului tegangan dengan sudut □2 dan arus I merupakan jumlah vektor dari I_1 dan dapat dijelaskan dengan Gambar berikut ini.

Gambar 76. Gambar Vektor dari Rangkaian RLC Paralel.

Arus I_1 dan I_2 mempunyai komponen ke sumber X (komponen aktif) dan komponen ke sumber Y (komponen reaktif).

Jumlah komponen aktif I_1 dan I_2 = I_1 Cos □1 + I_2 Cos □2

Jumlah komponen reaktif = I_2 Sin □2 – I_1 Sin □1

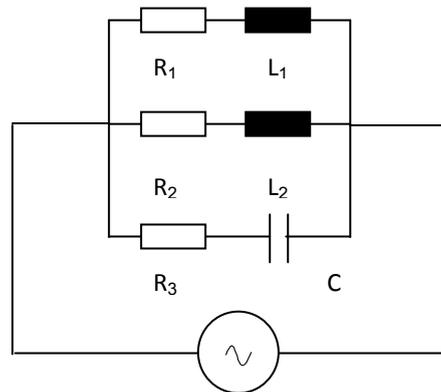
Sehingga arus total I

$$I = \sqrt{(I_1 \operatorname{Cos}\Phi 1 + I_2 \operatorname{Cos}\Phi_2)^2 + (I_2 \operatorname{Sin}\Phi 2 - I_1 \operatorname{Sin}\Phi 1)^2}$$

Sedangkan sudut fase antara V dan I

$$\Phi = tg^{-1}\frac{I_2 Sin\Phi 2 - I_1 Sin\Phi 1}{I_1\ Cos\ \Phi 1 + I_2 Cos\Phi_2}$$

2. Metode Admitansi.

Rangkaian seperti Gambar di bawah ini dapat dianalisis dengan metode admintasi.

Gambar 77. Rangkaian dengan Beban Paralel.

$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2}$ $\qquad Y_1 = \frac{1}{Z_1} = \sqrt{g_1^2 + (-b_1)^2}$

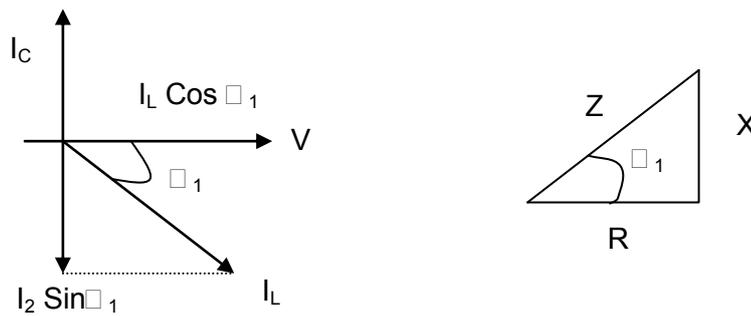
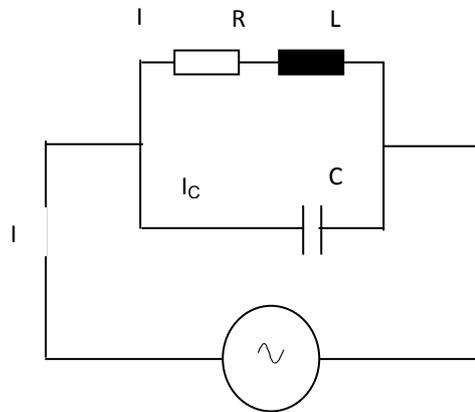
$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2}$ $\qquad Y_1 = \frac{1}{Z2} = \sqrt{g_2^2 + (-b_2)^2}$

$Z_3 = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ $\qquad Y_1 = \frac{1}{Z_1 3} = \sqrt{g_3^2 + (b_3)^2}$

$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3$

$Z = \frac{1}{Y}$

3. **Resonansi Pada Rangkaian Paralel**

Jika rangkaian paralel dihubungkan dengan sumber yang frekuensinya berubah-ubah, maka pada frekuensi tertentu komponen arus reaktif jumlahnya akan nol. Pada kondisi ini rangkaian disebut beresonansi. Perhatikan Gambar berikut ini.

Gambar 78. Rangkaian RLC Paralel dan Diagram Phasor.

Rangkaian beresonansi saat $I_C - I_L$ Sin □ = 0

I_L Sin □ = I_C

$$I_L = \frac{V}{Z} \text{ Sin } □$$

$$= \frac{X_L}{Z}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$

$$\frac{V}{Z} x \frac{X_L}{Z} = \frac{V}{X_C} \quad \text{atau} \quad X_L \times X_C = Z^2$$

$$X_L = \omega L \quad \text{dan} \quad Xc = \frac{1}{\omega C} \quad \text{maka} \quad \frac{\omega L}{\omega C} = Z^2$$

$$\frac{L}{C} = R^2 + X_L^2$$

$$= R^2 + (2\pi f_0 L)^2$$

$$2\pi f_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} \quad \text{sehingga} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

Jika R diabaikan maka freakuensi resonansi menjadi

$f = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi}$ sama seperti Resonansi Seri.

Lembar Kerja

Alat dan bahan :

1. Variac.. 1 buah
2. Trafo isolasi 220 V / 220 V.............................. 1 buah
3. CRO .... 1 buah

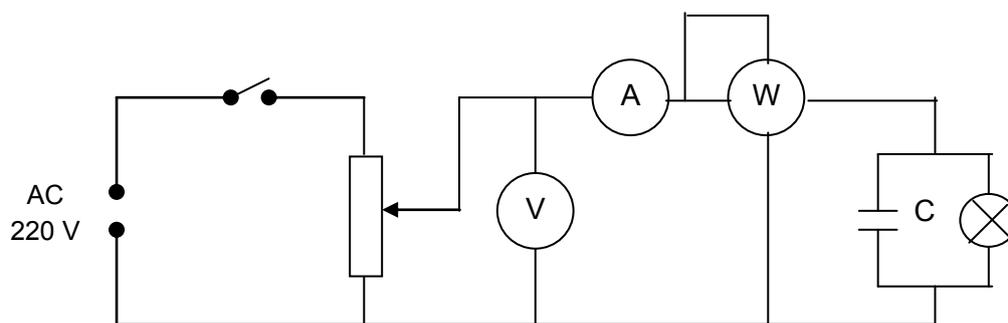
4. Function generator (AFG)................................ 1 buah
5. Amperemeter AC .... 1 buah
6. Wattmeter AC... 1 buah
7. Voltmeter AC... 1 buah
8. Lampu pijar.. 1 buah
9. Lampu TL... 1 buah
10. Kapasitor .... 1 buah
11. Kabel penghubung .... secukupnya.

kesehatan dan keselamatan kerja

1. Jangan menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar.
2. Perhatikan batas ukur alat yang digunkaan, hitunglah dulu arus, tegangan dan daya supaya tidak melebihi batas ukur alat yang digunakan.
3. Jangan membuat sambungan kabel terbuka.
4. Kalibrasi CRO dengan benar.
5. Letakkan alat ukur yang teratur dan rapi serta mudah diamati.
6. Kosongkan kapasitor yang telah dipakai dengan menggunakan resistor yang sesuai.

Percobaan I

langkah kerja

1. Siapkan alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini.
2. Buatlah rangkaian seperti Gambar di bawah ini.

Gambar 79. Rangkaian Percobaan

3. Setelah rangkaian benar hubungkan dengan sumber tegangan dan tutup saklar S.
4. Atur tegangan mulai dari nilai kecil sampai besarnya mendekati sama dengan tegangan kerja lampu dan kapasitor.
5. Catatlah arus dan daya setiap perubahan tegangan pada Tabel 5.
6. Gantilah lampu dan kapasitor dengan kapasitas yang lain, seperti pada Tabel di bawah ini.

Tabel 17. Pengamatan Arus dan daya Kapasitor.

V	C = 1,5 □F L= 40 W		C = 3,25 L = 40 W	
	I	P	I	P
50				
100				
150				
200				
220				

7. Gantilah lampu pijar dengan lampu TL aturlah tegangan tetap 220 V.
8. Catatlah besar arus serta daya ke dalam Tabel 5.
9. Matikan sumber tegangan dan ganti kapasitor dengan yang lain sesuai dengan Tabel 6 di bawah.

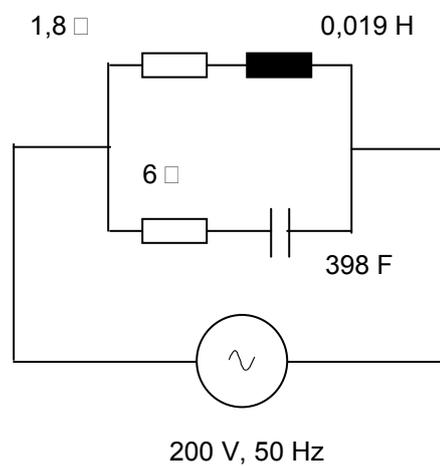
Tabel 18. Pengamatan Arus dan Daya Lampu TL

C (□F)	TL = 10 W		TL = 15 W		TL = 20 W	
	I	P	I	P	I	P

1,5 3,25 4,5 6,5 Tanpa C						

10. Bandingkan hasil pengukuran dengan teori dan tentukan besar kapasitor yang tepat untuk mesing-mesing lampu TL dengan menganalisa tegangan, arus dan daya tanpa C.

Lembar latihan

1. Sebuah kumparan mempunyai resistansi 8 Ω dan induktansi 0,0191 H diparalel dengan kapasitor 398 μF dan resistansi 6 Ω serta dihubungkan dengan tegangan 200 V, 50 Hz.

Hitunglah:

a. Arus masing-masing cabang.

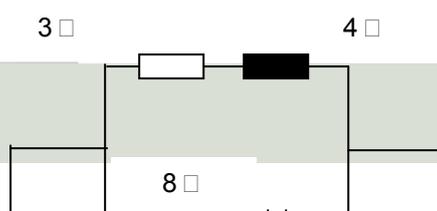
b. Daya masing-masing cabang

c. Arus total

d. Sudut fase antara arus dan tegangan

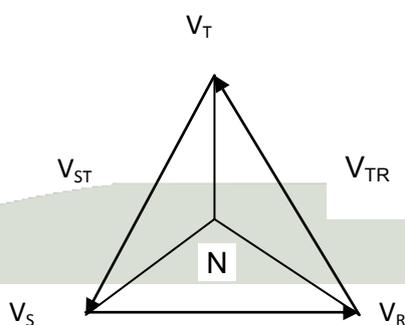
2. Hitunglah arus total dan faktor daya dari rangkaian di bawah ini !

3 Ω 4 Ω

8 Ω

3. Hitunglah frekuensi resonansi dari sebuah induktor yang mempunyai induktansi 0,25 H dan resistansi 50 ohm dan di paralel dengan kapasitor 4 □F

***D.** Rangkaian Tiga Fase*

1. Tegangan dan Arus pada Hubungan Bintang (Y)

Tegangan sistem tiga fase hubungan bintang terdiri dari empat terminal salah satunya titik nol. Urutan fase ada yang menyebut RST , a b c , atau fase I , II , III. Dalam hubungan bintang sumber tegangan tiga fase ditunjukkan oleh Gambar 20 di bawah ini.

$V_R = V_{ef} \angle 0$

$V_S = V_{ef} \angle -120^0$

$V_T = V_{ef} \angle +120^0$

$V_{R,}$ V_S dan V_T disebut dengan tegangan fase

Gambar 80. Diagram Phasor Sambungan Bintang

Sedangkan $V_{RS} = V_R - V_S$

$V_{ST} = V_S - V_T$

$V_{TR} = V_T - V_R$

Disebut dengan tegangan line (v_l)

$V_L = V_{fase} \times \sqrt{3}$

Berdasarkan gambar phasor di atas

$V_{RS} = V_L \angle 30^0$

$V_{TR} = V_L \angle 150^0$

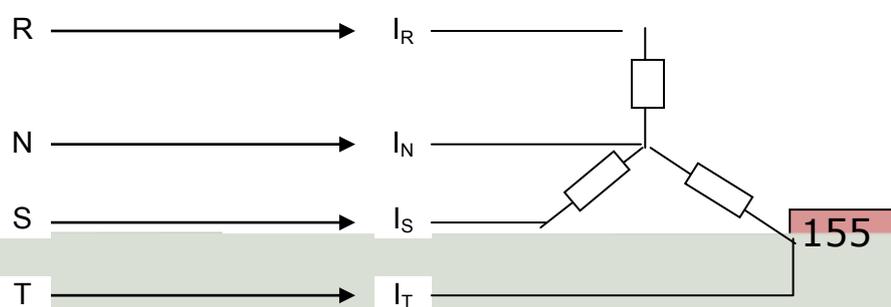
$V_{ST} = V_L \angle 900^0$

Jika sumber tiga fase hubungan bintang dihubungkan dengan beban seimbang, sambungan bintang dapat digambarkan sebagai berikut .

R I_R

N I_N

S I_S

T I_T

Gambar 81. Hubungan Bintang dengan Beban Seimbang

Pada Hubungan Y – Y

$V_L = V_f \times \sqrt{3}$ $I = I_f$

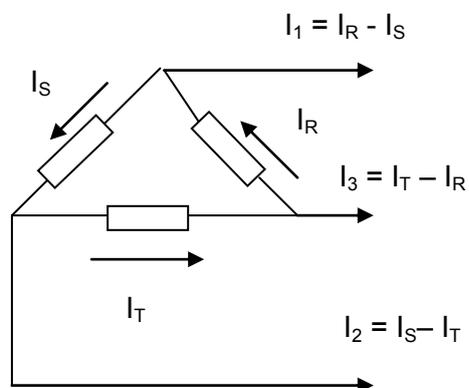
Pada beban seimbang $I_R + I_S + I_T = I_N = 0$

Daya total $P = 3 \, X \, V_f \, I_f \cos\phi$

$V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ $I_f = I_L$

sehingga $P = Sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$

2. Arus dan Tegangan Pada Sambungan Segitiga (Δ)

Sambungan segitiga dapat ditunjukkan oleh Gambar di bawah.

Gambar 82. Sambungan Segitiga.

Pada sambungan segitiga

Tegangan line = tegangan fase

$V_L = V_f$

Arus line = $\sqrt{3}$ arus fase

$I_L = \sqrt{3}\ I_f$

Jika beban seimbang besar arus line akan sama

$I_1 = I_2 = I_3 = I_L$

tetapi sudut fase berbeda 120^0 listrik.

3. Daya pada sambungan segitiga

Daya setiap fase

$$P_f = V_f I_f \cos\phi$$

Daya total

$$P = 3 \text{ x } V_f I_f \cos\phi$$

karena $V_f = V_L$ $\quad I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$ maka

$$P = \sqrt{3}\ V_f I_f \cos\phi$$

Lembar Kerja

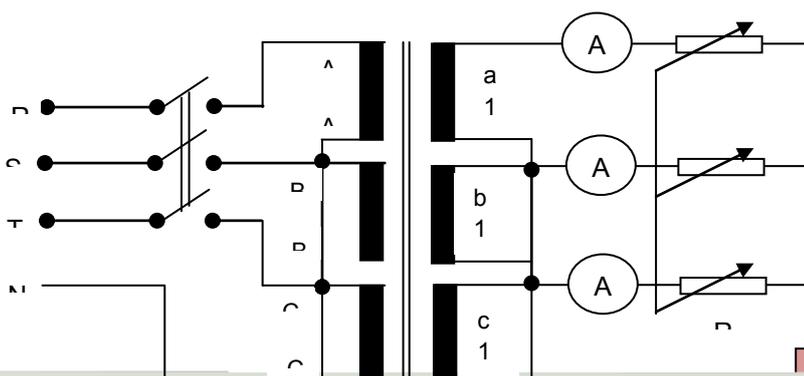
Alat dan Bahan :

1. Multimeter 1 buah
2. Amperemeter AC 4 buah
3. Transformator 3 phase 1 buah
4. Rheostat 500 □ / 1,1 A 1 buah
5. Loading Resistor 300 □ / 5 A 1 buah
6. Saklar 3 phasa 1 buah
7. Capasitor non polar 3,25 □F / 250 V 1 buah
8. Box dan kabel penghubung secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Jangan menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan sebelum rangkaian benar.
2. Perhatikan batas ukur alat yang digunkaan, hitunglah dulu arus, tegangan dan daya supaya tidak melebihi batas ukur alat yang digunakan.
3. Jangan membuat sambungan kabel terbuka.
4. Letakkan alat ukur yang teratur dan rapi serta mudah diamati.
5. Hati-hatilah dalam melaksanakan praktik.

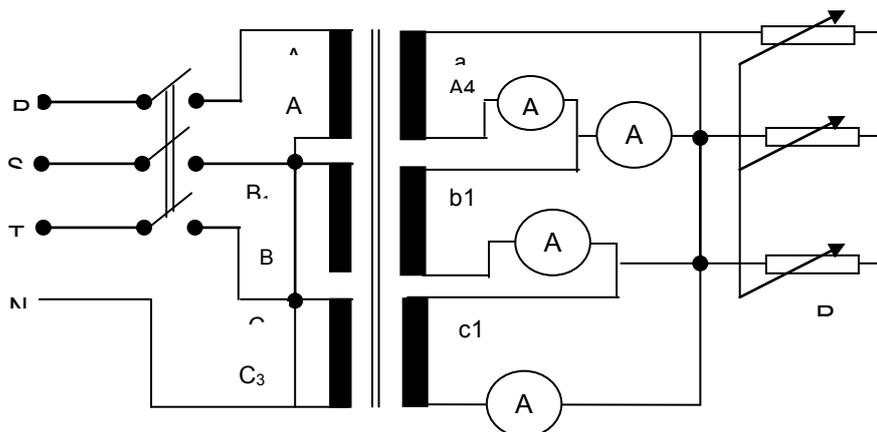
Langkah Kerja

1. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam percobaan ini.
2. Buatlah rangkaian seperti Gambar di bawah ini.

Gambar 83. Rangkaian Percobaa

3. Letakkan posisi R pada harga maksimum (300 ohm).

4. Setelah rangkaian benar, hubungkan ke sumber tegangan 3 phasa.kemudian aturlah beban R_L hingga diperoleh arus I_1 sebesar 0,5 A.

5. Catatlah penunjukkan amperemeter yang lain ke dalam Tabel 7.

6. Matikan sumber tegangan dan gantilah rangkaian pada sisi sekundernya seperti Gambar 23 di bawah ini tanpa merubah beban.

Gambar 84. Rangkaian Percobaan.

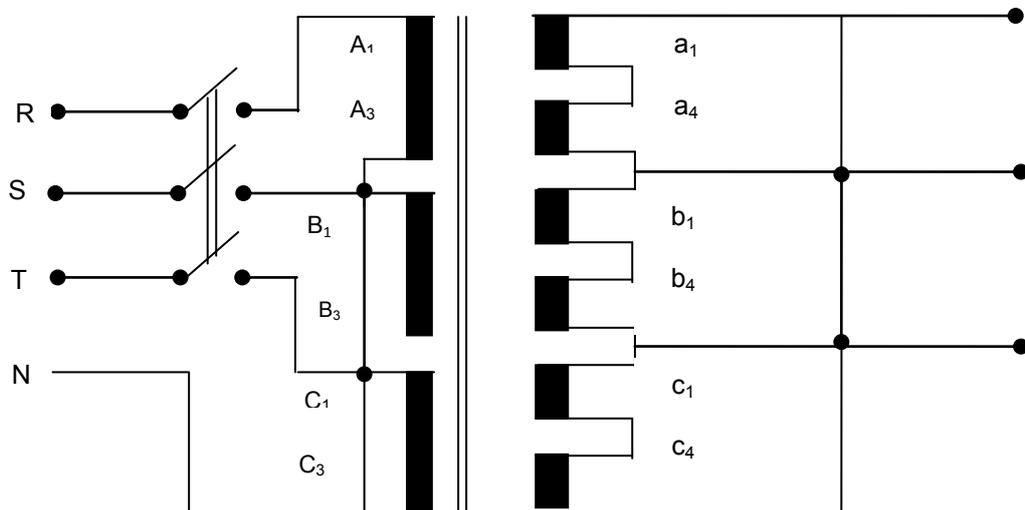
7. Setelah rangkaian benar, hubungkan ke sumber tegangan 3 phasa.

8. Catatlah penunjukkan masing-masing amperemeter ke dalam Tabel di bawah ini.

Tabel 19. Pengamatan Arus

Percobaan I		Percobaan II			
!$_2$ (A)	I_3 (A)	!$_1$ (A)	!$_2$ (A)	!$_3$ (A)	!$_4$ (A)

9. Matikan sumber tegangan dan gantilah rangkaian pada sisi sekundernya dengan rangkaian seperti Gambar 24 di bawah ini.

10. Setelah rangkaian benar, hubungkan ke sumber tegangan 3 phasa.

Gambar 85. Rangkaian Percobaan

11. Ukurlah tegangan sesuai dengan Tabel yang ada. dan masukkan data yang anda peroleh ke Tabel 20 .

Sambungan	Tegangan (V)
a. Ua1 – a8	

b. Ub1 – b8 c. Uc1 – c8 d. Ua8 – b8 e. Ua8 – c8 f. Ub8 – c8	

12. Setelah selesai semua, matikan sumber tegangan, kemudian lepas semua rangkaian dan kembalikan semua alat dan bahan yang digunakan ke tempat semula dengan rapi.
13. Buatlah kesimpulan dari percobaan di atas.

Lembar Latihan

1. Bagaimanakah hubungan antara tegangan phasa dengan tegangan line dari data yang diperoleh ?
2. Bagaimanakah hubungan antara arus phasa dengan arus line untuk percobaan di atas ?
3. Sumber tegangan tiga fase hubungan bintang dengan tegangan line 400 V dihubungkan dengan beban seimbang sambungan bintang yang setiap fase terdiri dari $R = 40\ \Omega$ dan $X_L = 30\ \Omega$.

   Hitunglah :

   a. Arus line

   b. Total daya yang diserap
4. Tiga buah kumparan yang sama masing–masing mempunyai resistansi 20 Ω dan indukatansi 5 H

a. Hitunglah arus dan daya yang diserap jika kumparan disambung bintang dan dihubungkan dengan tegangan tiga fase dengan tegangan line 400 V, 50 Hz. !

b. Hitunglah arus dan daya yang diserap jika kumparan disambung segitiga.

LEMBAR EVALUASI

A. Pertanyaan

1. Suatu sumber tegangan mempunyai persamaan sebagai berikut v = 311 sin 314 t. jika sumber tegangan tersebut diukur dengan multimeter, berapa besar tegangan yang ditunjukkan multimeter ?

2. Hitunglah arus dari sumber tegangan v = 311 sin 314 t yang dihubungkan dengan tahanan 100 ohm serta tentukan beda fase antara arus dan tegangan !

3. Hitunglah arus yang mengalir dan beda fase antara arus dengan tegangan dari sumber tegangan v = 311 sin 314 t yang dihubungkan dengan kapasitor 3,25 F !

4. Sebuah sumber tegangan v = 100 sin 314 t diberi beban kapasitor, arus yang mengalir 0,4 ampere, hitunglah kapasitansi dari kapasitor !

5. Sebuah kumparan mempunyai resistansi 10 ohm dan induktansi 0,125 H. Jika kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V, 25 Hz. Hitunglah impedansi, arus yang mengalir, dan daya yang diserap serta faktor daya !

6. Hitunglah resistansi dan induktansi sebuah kumparan yang dihubungkan dengan tegangan 250 v, 50 Hz dan mengalirkan arus 10 A serta faktor daya 0,8 !

7. Sebuah rangkaian seri terdiri dari R = 10 Ohm, L == 100mH/, C = 500 F/. Hitunglah

a. Arus yang megalir jika diberi tegangan 100 V, 50 Hz.

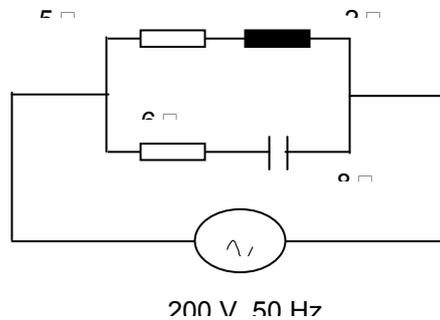
b. Faktor daya rangkaian.

c. Frekuensi yang menghasilkan resonansi.

8. Rangkaian seri terdiri dari R = 15 ohm, L = 4 H dan C = 25□F. Dihubungkan dengan tegangan 230 V. Hitunglah!

   a. Frekuensi resonansi

   b. Arus pada saat resonansi

9. Hitunglah arus total dan faktor daya dari rangkaian di bawah ini !

10. Sebuah sumber tiga fase yang mempunyai tegangan 400 V dihubungkan dengan beban tiga fase hubungan bintang yang tiap fase terdiri dari R = 4□ dan X_L = 3 □. Hitunglah arus jaringan dan daya yang diserap !

B. Kriteria Kelulusan

Kriteria	Skor (1 – 10)	Bobot	Nilai	keterangan

Nomor Soal : ▪ 1 ▪ 2 ▪ 3 ▪ 4 ▪ 5 ▪ 6 ▪ 7 ▪ 8 ▪ 9 ▪ 10		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		WL (Wajib Lulus) $\geq$ 70
		Nilai akhir		

LEMBAR KUNCI JAWABAN

Kunci Jawaban Tegangan dan Arus Listrik Bolak-Balik

5. Banyak putaran generator setiap detik adalah

$$F = \frac{PN}{120}$$

$$N = \frac{120f}{P} = \frac{120x50}{20} = 300 \text{ rpm}$$

6. Penunjukan voltmeter adalah sebagai berikut :

Tegangan puncak – puncak (Vp-p) = 200 volt

Tegangan maksimum (Vm) = $\frac{Vp-p}{2} = \frac{200}{2}$ = 100 volt

Tegangan Efektif (V) = $\frac{Vm}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}}$ = 70,7 volt

7. Arus yang mengalir pada lampu dan tahanan lampu adalah :

   Lampu pijar menyerap daya 100 watt (bila dipasang pada tegangan nilai tengah dari tegangan yang tercantum). Karena lampu sudah dipasang pada nilai tengah maka daya lampu adalah 100 watt

   P = V I

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100}{225} = 0,44 \text{ A}$$

   Arus yang mengalir pada lampu = 0,44 A

$$P = \frac{V^2}{R}$$
$$= \frac{V^2}{P} = \frac{225^2}{100} = 506,25\Omega$$

   Jadi tahanan lampu pijar pada tegangan 225 v adalah 506,25 □

8. Arus dan tahanan elemen adalah :

   Sebelum elemen putus.

$P = VI$

$I = \frac{P}{V} = \frac{900 \text{watt}}{225 \text{ volt}} = 4A$

$\therefore$ Arus pada kompor $= 4$ A

$P = VI \qquad I = \frac{V}{R}$

$P = \frac{V^2}{R}$

$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(225)^2}{900} = 56{,}25\,\Omega$

$\therefore$ Tahanan elemen pemanas $= 56{,}25\,\Omega$

setelah putus dan disambung

$R = \frac{4{,}8}{5} \text{x} 56{,}25 = 55\,\Omega$

$\therefore$ Besar tahanan kompor $55\,\Omega$

$I = \frac{V}{R} = \frac{225}{55} = 4{,}1$ A

$\therefore$ Arus pada kompor $= 4{,}1$ A

$P = VI = 225 \text{ x } 4{,}1 = 92{,}5$ watt

$\therefore$ daya pada kompor menjadi 922,5 watt

9. Arus dan daya yang diserap oleh kapasitor adalah

Kapasitor ekivalen dari susunan seri.

$$C = \frac{C_1 x C_2}{C_1 + C_2} = \frac{60 \text{ x } 40}{60 + 40} = 24\,\mu F$$

Besar reaktansi

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \text{ x } 50 \text{ x } 24 \text{ x} 10^{-6}}$$

$$= \frac{10^6}{2\pi \text{ x } 50 \text{ x } 24} = 132{,}7\,\Omega$$

$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{220}{132{,}7} = 1{,}67$$

arus yang mengalir = 1,67 A

daya yang diserap kapasitor = 0

Kunci Jawaban : Rangkaian Seri Arus Bolak – Balik Beban Resistor Dan Induktor

X_L = 2□ f L = 2□ x 50 x 0,192 = 60c

Z = $\sqrt{80^2 + 60^2}$ = 100□

I $= \frac{V}{S} = \frac{225}{100} = 2{,}25$

Arus yang mengalir 2,25 Ampere

Faktor daya = Cos □ = $\frac{R}{Z} = \frac{80}{100} = 0{,}8$

Daya aktif (P) = I^2 R= $2{,}25^2$ x 80 = 405 awtt

Daya semu (S) = VI = 225 x 2,25 = 506,25 VA

Daya reaktif (Q) $= \sqrt{S^2 - P^2}$

$= \sqrt{506{,}2^2 - 405^2} =$

10.Besar resistensi dan induktansi

dihubungkan 100 V DC

$$I = \frac{P}{V} = \frac{500}{100} = 5A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{100}{5} = 20\Omega$$

Dihubungkan 100 V AC, 50 Hz

$P = I^2 R \qquad I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{200}{20}} = 3{,}16$

$Z = \frac{V}{I} = \frac{100}{3{,}16} = 31{,}64\Omega$

$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

$X_L = \sqrt{Z^2 + R^2} = \sqrt{31{,}64^2 - 20^2} == 24{,}5\Omega$

$X_L = 2\pi fL$

$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{24{,}5}{2\pi x 50} = 78mH$

11.Penyelesaian :

$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{10^6}{2\pi \text{ x } 50 \text{ x } 10} = 318{,}3\Omega$

$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{120^2 + 318{,}3^2} = 340\Omega$

$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{340} = 0{,}294$ A

a. Arus yang mengalir = 0,294 A

Tg φ = $\frac{-X_C}{R} = \frac{318{,}3}{120}$

φ = $tg^{-1} (\frac{318{,}3}{120}) = 69{,}20^0$

b. Beda fasa antara arus dan tegangan = 69,20 $^\circ$

c. Daya yang diserap

$P = I^2 R$ = $(0{,}294)^2$ x 120 = 10,4 watt

12.Besar R dan C adalah

$P = I^2 R$

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{96{,}8}{(2{,}2)^2} = 20\square$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{125}{2{,}2} = 56{,}82\square$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(56{,}82)^2 - 20^2} == 53{,}2\square$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{6{,}28 \text{ x } 60 \text{ x } 53{,}2} = 0{,}00005 \text{ F} = 50 \square\text{F}$$

13. Besar C agar lampu mendapat tegangan yang sesuai adalah :

$$V = \sqrt{V^2 - {V_R}^2}$$

$= 207{,}1$ V

Arus pada lampu :

$$I = \frac{P}{V} = \frac{750}{100} = 7{,}5 \text{ A}$$

$$C = \frac{1}{\omega V_C} = \frac{7{,}5}{6{,}28 \text{ x } 60 \text{ x } 207{,}1} = 96\square\text{F}$$

Jadi kapasitor yang diperlukan adalah 98 □F

14. kapasitansi kapasitor, induktansi, dan resistansi adalah

Saat resonansi, arus maksimum sama dengan $\frac{V}{R}$

I = $\frac{V}{R}$

$$R = \frac{V}{I} = 637 \text{ ohm}$$

Saat resonansi, tegangan induktor dan kapasitor sama.

$V_C = I\, X_C$

$$X_C = \frac{V_C}{I} = \frac{300}{314.10^{-3}} \quad \text{di mana} \quad X_C = \frac{1}{2\pi\, f0\, C}$$

$$\text{Maka } \frac{300}{314.10^{-3}} = \frac{1}{314C}$$

$$C = \frac{1}{300 \text{ x } 10^{3}}$$

$$= 3{,}33\ \mu F$$

$$X_L = \frac{V_L}{I} = \frac{300}{314x10^{3}} \quad \text{di mana} \quad X_L = 2\pi\, foL$$

$$L = \frac{300}{314 \text{ x } 314 \text{ x } 10^{-3}} = 3{,}04 \text{ H}$$

Kunci Jawaban: Rangkaian Paralel Arus Listrik Bolak-Balik

1. Penyelesaian :

   a. Cabang I

   $X_L = 2\pi fL = 2\pi \text{ X } 50 \text{ x } 0{,}0191 = 6\,\Omega$

   $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10\Omega$

   $I_1 = \frac{V}{Z_1} = \frac{200}{10} = 20A$

   Arus I ketinggalan terhadap tegangan dengan sudut

$\text{Cos } □^{-1} = \frac{R_1}{Z_1} = \text{Cos}^{-1}(\frac{8}{10}) = 36,520$

Cos □1 = 0,8

Sin □1 = 0,6

b. Cabang II

$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi x50x398x10^{-6}} = 8□$

$Z_2 = \sqrt{R_1^2 + X_C} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\Omega$

$I_2 = \frac{V}{Z_2} = \frac{200}{10} = 20A$

Arus yang mendahului V dengan sudut $\text{Cos } □_2 = \frac{R}{Z} = \frac{6}{10} = 0,6$

$Q_2 = \text{Sin } □_2 = \frac{X_C}{Z} = \frac{8}{10} = 0,8$

c. Daya pada masing-masing cabang.

$P_1 = I_1^2 R_1 = 20^2.8 = 3200$ Watt = 3,2 kW

$P_2 = I_2^2 R_2 = 20^2.6 = 24200$ Watt = 2,4 kW

d. Arus total

Komponen aktif = $I_1 \text{Cos } □_1 + I_2 \text{Cos } □_2$ = 20. 0,8 + 20. 0,6 = 28

Komponen reaktif = $I_1 \text{Sin } □ - I_2 \text{Sin } □_2$ = 20. 0,8 - 20. 0,6 = 4

$I_{Total} = \sqrt{28^2 + 4^2} = 28,3$ A

e. Sudut fase

$\square$ = Tg − 1. $\frac{4}{28}$ = ...

2. Arus total dan faktor daya dari rangkaian tersebut :

$g_1 = \frac{R_1}{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{3}$ = 0,12 mho

$b_1 = \frac{X_1}{R_1^2 + X_1^2} = \frac{4}{3^2 + 4^2}$ = 0,16 mho

$g_2 = \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2} = \frac{8}{8^2 + 6^2}$ = 0,08 mho

$b_2 = \frac{X_2}{R_2^2 + X_2^2} = \frac{6}{8^2 + 6^2}$ = 0,06 mho

G = g_1 + g_2 = 0,12 + 0,08 = 0,20 mho

b = b_1 + b_2 = -0,16 + 0,06 = - 0,10 mho

Y = $\sqrt{G^2 + B^2}$

Y = $\sqrt{0{,}2^2 + 0{,}1^2}$ = 0,223 mho

I = VY = 100 X 0,223 A

Arus total = 22,3 A

Faktor Daya Cos $\square$ **=** $\frac{G}{Y} = \frac{0{,}2}{0{,}223}$ ***= 0,9***

3. Frekuensi resonansi :

$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$

$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{0{,}25x4x10^{-6}} - \frac{50^2}{0{,}25^2}}$

= 156 Hz

Kunci Jawaban : Rangkaian Tiga Fase

1. Hubungan antara tegangan fasa dan tegangan line
   a. Sambungan bintang = V line = V fasa □ 3
   b. Sambungan segitiga = V line = V fasa
2. Hubungan antara arus fasa dan arus line
   a. Sambungan bintang = I line = I fasa
   b. Sambungan segitiga = I line = I fasa
3. Penyelesaian :

$$
\begin{aligned}
Z_f &= \sqrt{R^2 + X_L} \\
&= \sqrt{40^2 + 30^2} \\
&= 50\Omega \\
\cos\phi &= \frac{R}{Z} = \frac{40}{50} = 0{,}8 \\
V_L &= 400\text{V} \\
V_f &= \frac{400}{\sqrt{3}}\text{V} \\
I_f &= \frac{V_f}{Z_f} \\
&= \frac{400/\sqrt{3}}{50} = \frac{80}{\sqrt{3}}\text{A} \\
I_L &= \frac{8}{\sqrt{3}}\text{A} \\
P &= \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\phi \\
&= \sqrt{3}.400.\frac{8}{\sqrt{3}}.0{,}8 \\
&= 2560 \text{ watt}
\end{aligned}
$$

4. R_{fase} = 20 □

X_L = 2□fL = 2□ x 50 x 0,5 = 157 □

$Z_{fase} = \sqrt{20^2 + 157^2} = 158{,}2\ \Omega$

$$\cos\phi = \frac{R_{fase}}{Z_{fase}} = \frac{20}{158{,}2} = 0{,}1264$$

a. Hubungan Bintang

$$V_{fase} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231\text{V}$$

$$= \frac{V_{fase}}{Z_{fase}} = \frac{231}{158{,}2} = 1{,}46\text{A} \quad I_L = 1{,}46\ \text{A}$$

Daya yang diserap

$P = \sqrt{3}$ x 400 x 1,46 x 0,1264

= 127,8 Watt

b. Hubungan segi tiga

$V_{fase} = V_2$ = 400 V Z_{fase} = 158,2 □

$$I_{fase} = \frac{V_{fase}}{Z_{fase}} = \frac{400}{158{,}2}$$

$I_L = \sqrt{3}\ I_{fase}$ = [illegible] x $\frac{400}{158{,}2}$ = 4,38 A

Daya yang diserap

$P = \sqrt{3} V_L I_L \text{ Cos } □$

$P = \sqrt{3} \times 400 \times 4,38 \times 0,1264$

P = 383,4 Watt

Arus hubungan segitiga 3 kali hubungan bintang daya yang diserap hubungan segitiga 3 kali dayaa yang diserap hubungan bintang.

Kunci Jawaban Lembar Evaluasi

1. Tegangan yang ditunjukkan oleh multimeter adalah 220 V
2. Besar arus adalah 2,2 Ampere dan beda fasa antara arus dan tegangan adalah 0^0
3. Arus yang mengalir adalah 0,225 A, beda fasa arus dan tegangan adalah 90^0 arus mendahulu.
4. Kapasitansi dari kapasitor adalah 36 □F
5. Impedansi = 22□

   Arus yang mengalir = 10 A

   Daya yang diserap = 1000 W

   Faktor daya = 0,4545
6. Resistansi kumparan =20 □

   Induktansi kumparan = 0,048 H.
7. Arus yang mengalir jika diberi tegangan 100 V, 50 Hz = 7,07 A

   Faktor daya rangkaian = 0,707

   Frekuensi yang menghasilkan resonansi = 70,71 Hz
8. Frekuensi resonansi = 15,9 Hz

   Arus pada saat resonansi = 15, 33 A

9. Arus total = 46,5 A

Faktor daya = 0,9987

10. Arus jaringan = $\frac{80}{\sqrt{3}}$ A

Daya yang diserap = 25.600 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

Edminister, Joseph A, Ir Soket Pakpahan, *Teori dan soal-soal Rangkaian Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1988.

Hayat, William H, Kemmerly, Jack E, Pantur Silaban PhD, *Rangkaian Listrik jilid I,* Erlangga, Jakarta 1982.

Hayat, William H, Kemmerly, Jack E, Pantur Silaban PhD, *Rangkaian Listrik jilid II*, Erlangga, Jakarta 1982.

Edminister, Joseph A, Ir Soket Pakpahan, *Teori dan Soal-Soal Rangkaian Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1988.

Hayat, William H, Kemmerly, Jack E, Pantur Silaban PhD, *Rangkaian Listrik Jilid I*, Erlangga, Jakarta 1982.

Hayat, William H, Kemmerly, Jack E, Pantur Silaban PhD, *Rangkaian Listrik Jilid II*, Erlangga, Jakarta 1982.

Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) Tahun 2000, Jakarta : LIPI

John B Robertson. (1995). *Keterampilan Teknik Listrik Praktis*. Bandung : Penerbit YRAMA WIDYA.

Syam Hardi. (1985). *Listrik Elektronika Rumah Tangga*. Bandung : Penerbit Bina Aksara.

Setiawan dan Van Harten. (1985). *Instalasi Listrik Arus Kuat I*. Bandung : Penerbit Bina Aksara.

Theraja, *Fundamental of Electrical Enginering and Electronics*, S Chand & Co (PUT) LTD, New Delhi, 1976.

Tim Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta 2001, *Modul Electro Dasar.*